



TUGAS AKHIR - TM141585

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PLTGL TIPE PELAMPUNG SILINDER DENGAN VARIASI INERSIA LENGAN DAN KETINGGIAN PROTOTIPE TERHADAP PERMUKAAN AIR

MUHAMMAD SANTOSO
NRP. 2112 106 021

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - TM0141585

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK
YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PLTGL TIPE
PELAMPUNG SILINDER DENGAN VARIASI INERSIA
LENGAN DAN KETINGGIAN PROTOTIPE TERHADAP
PERMUKAAN AIR**

MUHAMMAD SANTOSO
NRP. 2112 106 021

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM141585

EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY PRODUCED BY OCEAN WAVE POWER PLANT (PLTGL) MECHANISM CYLINDER BUOY TYPE WITH VARIATION INERTIA OF ARM AND HEIGHT PROTOTYPE OF SURFACE WATER

MUHAMMAD SANTOSO
NRP. 2112 106 021

Academic Supervisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF
ELECTRICAL ENERGY PRODUCED BY OCEAN
WAVE ENERGY POWER PLANT (PLTGL)
MECHANISM CYLINDER BUOY TYPE WITH
VARIATION INERTIA OF ARM AND HEIGHT
PROTOTYPE OF SURFACE WATER**

MUHAMMAD SANTOSO
NRP. 2112 106 021

Academic Supervisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK
YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PLTGL TIPE
PELAMPUNG SILINDER DENGAN VARIASI INERSIA
LENGAN DAN KETINGGIAN PROTOTIPE TERHADAP
PERMUKAAN AIR**

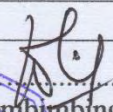
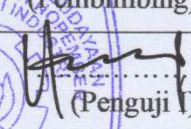


TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Bidang Studi Desain
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD SANTOSO

NRP. 2112 106 021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :	
1. <u>Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT</u> (NIP. 197004121997032003)	 (Pembimbing)
2. <u>Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST., M.Eng</u> (NIP. 197505111999031001)	 (Penguji I)
3. <u>Ir. J. Lubi</u> (NIP. 195106031976031002)	 (Penguji II)
4. <u>Moch Solichin. ST., MT</u> (NIP. 2100201405003)	 (Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2015**

**EXPERIMENTAL STUDY AND ANALYSIS OF
ELECTRICAL ENERGY PRODUCED BY OCEAN
WAVE ENERGY POWER PLANT (PLTGL)
MECHANISM CYLINDER BUOY TYPE WITH
VARIATION INERTIA OF ARM AND HEIGHT
PROTOTYPE OF SURFACE WATER**

Name : Muhammad Santoso
NRP : 21.12.106.021
Major : Teknik Mesin FTI – ITS
Supervisor : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRACT

One of the improvement manifestation of wave energy potential in Indonesia is ocean wave energy power plant development (PLTGL). Which are the condition of ocean wave along the South Coast of Java, North of Papua, and West of Sumatera are considered have potential to generate electrical energy which has a wave height about 1,5 to 2 meters and not broken up on shore. On that beach the tidal of ocean wave occurs, the tidal period varies between 12 hours and 25 minutes to 24 hours and 50 minutes and peak of the tides in Indonesian ocean varies between 1 to 6 meters. Therefore, a lot of research was done to take advantage of ocean wave energy, by creating a tool that can converted ocean wave energy in tidal areas into electrical energy.

This research was done the design and build a prototype of ocean wave energy power plant cylinder buoy type for laboratory scale. The discussion of this final project is focused on experimental studies on the effect variation inertia of the arm and height on the prototype (main shaft rotation axis) with surface of the water to the electrical energy was generated. Which the amplitude and frequency of ocean wave touch the cylinder buoy

causes up and down movement (pitching). The torque generated from the main shaft which have the one way bearing used to rotate in the same direction, and then generator will rotate and generated electricity

Result of this research was found that more greater the inertia of the arm, the energy produced is getting smaller because inertia of the arm opposite with the force generated. And the higher height of the prototype, the electricity produced is getting smaller. Largest power values obtained on the the prototype with height variation ($Y = 5$ cm) and inertia of the arm ($I=0.026$ kg.m²) that equal to 0.00156 Watt with efficiency of 0.106%. The smallest power obtained on the prototype with height variation ($Y = 15$ cm) and inertia of the arm ($I=0.032$ kg.m²) that equal to 0.00090 Watt with efficiency of 0.062%.

Keyword : PLTGL, Ocean Wave Energy, Tidal, Cylinder Buoy, and Electrical Energy

STUDI EKSPERIMEN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH MEKANISME PLTGL TIPE PELAMPUNG SILINDER DENGAN VARIASI INERSIA LENGAN DAN KETINGGIAN PROTOTIPE TERHADAP PERMUKAAN AIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Santoso
NRP : 21.12.106.021
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRAK

Salah satu wujud dari pengembangan potensi energi laut di Indonesia adalah pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Dimana, kondisi gelombang laut di sepanjang Pantai Selatan Pulau Jawa, sebelah utara Papua dan sebelah barat pulau Sumatera, dianggap potensial untuk membangkitkan energi listrik yaitu mempunyai ketinggian gelombang sekitar 1,5 hingga 2 meter dan tidak pecah hingga sampai di pantai. Pada pantai tersebut terjadi pasang surut air laut, periode pasang surut tersebut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit dan tunggang pasang surut di perairan Indonesia bervariasi antara 1 sampai dengan 6 meter. Maka dari itu, banyak penelitian dilakukan untuk memanfaatkan energi gelombang laut tersebut, dengan cara membuat alat yang dapat mengkonversi energi gelombang laut di daerah pasang surut menjadi energi listrik.

Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun suatu prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung silinder untuk skala laboratorium. Pembahasan dari tugas akhir ini dititik beratkan pada studi eksperimen pengaruh variasi inersia pada lengan dan ketinggian prototipe (sumbu rotasi

poros utama) dengan permukaan air, terhadap energi listrik yang dihasilkan. Dimana amplitudo dan frekuensi gelombang air yang mengenai pelampung silinder menyebabkan gerakan naik turun (pitching). Torsi dihasilkan dari poros utama yang terdapat *one way bearing* dan digunakan untuk memutar searah, lalu diteruskan dengan memutar generator dan menghasilkan energi listrik.

Hasil penelitian ini didapat bahwa semakin besar inersia lengan maka energi yang dihasilkan semakin kecil, karena inersia pada lengan berlawanan dengan gaya yang dibangkitkan. Dan semakin tinggi ketinggian prototipe maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan. Nilai daya terbesar terjadi pada variasi ketinggian prototipe ($Y = 5\text{cm}$) dan inersia lengan ($I = 0.026\text{ kg.m}^2$) yaitu sebesar 0.00156 Watt dengan efisiensi sebesar 0.106%. Daya terkecil terjadi pada variasi ketinggian prototipe ($Y = 15\text{cm}$) dan Inersia lengan ($I = 0.032\text{ kg.m}^2$) yaitu sebesar 0.00090 watt dengan efisiensi sebesar 0.062%.

Kata kunci: PLTGL, energi gelombang laut, pasang surut, pelampung silinder, dan energi listrik

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibunda tercinta Tarsilah S.Pd. dan Ayahanda tercinta Saryana S.Ag yang senantiasa memberikan dorongan semangat dan moril bagi penulis untuk terus berusaha menuntut ilmu semoga Allah SWT selalu memberikannya rahmat serta hidayat-Nya.
2. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT. selaku dosen wali dan dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Ir. Yunarko Triwinarno, MT., Moch. Solichin ST., MT dan Ir. J. Lubi. selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
5. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.
6. Kakak tercinta Sugeng Riyadi dan Akhmad Wibowo yang selalu memberikan semangat yang luar biasa.

7. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa, dan dukungannya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rekan – rekan tim Ocean Wave Energy yang sama – sama berjuang dan saling bahu membahu menyelesaikan Tugas akhir ini.
9. Rekan - rekan lintas jalur Teknik Mesin ITS angkatan tahun Lintas Jalur Genap 2012/2013, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan ketika penulis membutuhkan, terima kasih atas bantuannya dan mari kita jaga persahabatan dan persaudaraan yang telah berjalan.
10. Teman-teman lab. Vibrasi dan Sistim Dinamis terima kasih atas doa dan dukungannya.
11. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Laporan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.1.1 Penelitian PLTGL tipe pelampung oleh Masjono	7
2.1.2 Penelitian PLTGL tipe pelampung oleh Yulyana dan Fauzi	8
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Gelombang laut	9
2.2.1.1 Definisi gelombang	9
2.2.1.2 Pasang surut air laut	11
2.2.1.3 Energi gelombang	14
2.2.1.4 Gaya pada pelampung	17

2.2.2	Mekanika geteran	20
2.2.2.1	Amplitudo	22
2.2.2.2	Frekuensi	22
2.2.2.3	Kecepatan sudut (ω)	23
2.2.3	Elemen mesin	24
2.2.3.1	Roda gigi lurus (<i>Spur Gear</i>)	24
2.2.4	Generator	25
2.2.4.1	Daya generator	26
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Tahapan Penelitian	27
3.2	Perencanaan Mekanisme	31
3.2.1	Teoritis	31
3.2.1.1	Kesetimbangan statis	31
3.2.1.2	Kesetimbangan dinamis	32
3.2.2	Prototipe	35
3.2.1.1	Kolam simulasi	35
3.2.2.2	Prototipe mekanisme PLTG tipe pelampung silinder	36
3.3	Pembuatan Mekanisme	39
3.4	Pengujian Mekanisme	44
3.4.1	Peralatan pengujian	44
3.4.2	Flowchart pengujian	46
3.4.3	Lembar data pengujian	47
BAB IV ANALISA & PEMBAHASAN.....		49
4.1	Analisa Teoritis	49
4.1.1	Contoh perhitungan	49
4.1.2	Pengaruh variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan	53
4.2	Analisa Eksperiment	54
4.2.1	Pengolahan data	54
4.2.2	Pengaruh variasi inersia lengan terhadap energi listrik yang dihasilkan	56

4.2.2.1	Variasi inersia lengan pada $Y_1 = 15\text{cm}$	56
4.2.2.2	Variasi inersia lengan pada $Y_2 = 10\text{cm}$	58
4.2.2.3	Variasi inersia lengan pada $Y_3 = 5\text{cm}$	60
4.2.3	Pengaruh variasi ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan	62
4.2.3.1	Variasi ketinggian prototipe pada $I_1 = 0.032 \text{ kg.m}^2$	62
4.2.3.2	Variasi ketinggian prototipe pada $I_2 = 0.029 \text{ kg.m}^2$	64
4.2.3.3	Variasi ketinggian prototipe pada $I_3 = 0.026 \text{ kg.m}^2$	66
4.3	Pembahasan	68
4.3.1	Pengaruh variasi ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan (Teori vs Eksperiment)	68
4.3.2	Pengaruh variasi inersia lengan terhadap energi listrik yang dihasilkan (Teori vs Eksperiment)	70
4.4	Effisiensi pada Prototipe PLTGL Tipe Pelampung Silinder	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN		79

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Keterangan Gambar Mekanisme	39
3.2 Spesifikasi Motor DC	43
3.3 Variasi Pengujian	47
4.1 Tabel Daya dengan Variasi Inersia Lengan dan Ketinggian Prototipe Secara Teoritis	53
4.2 Variasi Inersia Lengan pada Y_1 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	58
4.3 Variasi Inersia Lengan pada Y_2 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	60
4.4 Variasi Inersia Lengan pada Y_3 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	62
4.5 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_1 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	64
4.6 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_2 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	66
4.7 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_3 terhadap Voltase yang Dihasilkan.....	68
4.8 Tabel Data Effisiensi pada setiap Variasi	72
4.9 Tabel Data Skala Perbandingan Model pada Kondisi Sebenarnya	72

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Ilustrasi konverter gelombang laut menggunakan <i>One- Way Gear</i>	7
2.2. Ilustrasi konverter gelombang laut menggunakan <i>One- Way Bearing</i>	8
2.3 Proses pembentukan gelombang akibat angin	10
2.4 Karakteristik ombak	15
2.5 Gaya-gaya yang bekerja pada pelampung	17
2.6 (a) Benda terapung, (b) Benda melayang, (c) Benda tenggelam	18
2.7 Torsi yang bekerja pada poros utama.....	19
2.8 Momen inersia berbagai macam benda yang umum dikenal	20
2.9 Gerakan pada bandul	24
2.10 Rincian roda gigi lurus	17
2.11 Generator:	26
3.1 <i>Flowchart</i> metodologi penelitian	28
3.2 <i>Digital Storage Oscilloscope</i>	30
3.3 FBD keseimbangan statis	31
3.4 FBD keseimbangan dinamis	32
3.5 Kolam simulasi gelombang dan mekanisme pembuat gelombang	36
3.6 Mekanisme PLTGL metode pelampung silinder.....	37
3.7 Variasi inersia lengan (I)	38
3.8 Variasi ketinggian prototipe (Y).....	38
3.9 Model PLTGL metode pelampung silinder	39
3.10 Pelampung silinder	40
3.11 Lengan mekanisme.....	41
3.12 <i>One Way Bearing</i> Koyo WCB6205.....	41
3.13 Poros utama	42

3.14	Roda gigi	42
3.15	<i>Gearbox</i> dan Motor DC	43
3.16	Penopang prototipe	44
3.17	<i>Flowchart</i> pengujian	46
4.1	Analisa gaya pada mekanisme.....	49
4.2	Grafik daya dengan variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe.....	54
4.3	Data percobaan pada <i>oscilloscope</i>	55
4.4	<i>Fitting</i> pada <i>oscilloscope</i>	56
4.5	Grafik tegangan dengan variasi inerisa lengan pada Y_1	57
4.6	Grafik tegangan dengan variasi inerisa lengan pada Y_2	59
4.7	Grafik tegangan dengan variasi inerisa lengan pada Y_3	61
4.8	Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_1	63
4.9	Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_2	65
4.10	Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_3	67
4.11	Grafik daya variasi inersia lengan.	68
4.12	Grafik daya variasi ketinggian prototipe	70
4.13	Grafik perbandingan efisiensi variasi.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia mempunyai wilayah yang sangat luas yang membentang dari barat ke timur sepanjang 5.110 km dan membujur dari utara ke selatan sepanjang 1.888 km. Dengan wilayah seluruhnya mencapai 5.193.252 km² yang terdiri atas 1.890.754 km² luas daratan dan 3.302.498 km² luas lautan. Luas daratan Indonesia hanya sekitar sepertiga dari luas seluruh Indonesia sedangkan dua pertiganya berupa lautan. Dengan perbandingan itu Indonesia dijuluki sebagai negara maritim atau negara kelautan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1983 tentang Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), Indonesia telah disetujui secara internasional untuk memperluas wilayah lautnya. Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia adalah jalur di luar dan berbatasan dengan laut wilayah Indonesia. ZEE diatur berdasarkan undang-undang yang berlaku tentang perairan Indonesia yang meliputi dasar laut, tanah di bawahnya, dan air di atasnya dengan batas terluar 200 mil laut diukur dari garis pangkal laut wilayah Indonesia. Wilayah daratan Indonesia terdiri atas pulau-pulau. Menurut data terakhir yang disurvei oleh LAPAN dan LIPI, jumlah pulau Indonesia pada tahun 2005 sebanyak 18.110 pulau besar dan kecil.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dikelilingi oleh dua lautan yaitu Samudera Indonesia dan Samudera Pasifik serta posisinya yang berada di garis katulistiwa sehingga kondisi pasang surut, angin, gelombang, dan arus laut cukup besar.. Hasil pengukuran tinggi pasang surut di wilayah laut Indonesia menunjukkan beberapa wilayah lepas laut pesisir daerah Indonesia memiliki pasang surut cukup tinggi. Keadaan pasang surut di perairan Nusantara ditentukan oleh penjaralan pasang surut dari

Samudra Pasifik dan Hindia serta morfologi pantai dan batimeri perairan yang kompleks dimana terdapat banyak selat, palung dan laut yang dangkal dan laut dalam. Keadaan perairan tersebut membentuk pola pasang surut yang beragam. Di Selat Malaka pasang surut setengah harian (semidiurnal) mendominasi tipe pasut di daerah tersebut. Berdasarkan pengamatan pasang surut di Kabil, Pulau Batam diperoleh bilangan Formzhal sebesar 0,69 sehingga pasang surut di Pulau Batam dan Selat Malaka pada umumnya adalah pasut bertipe campuran dengan tipe ganda yang menonjol. Pasang surut harian (diurnal) terdapat di Selat Karimata dan Laut Jawa. Berdasarkan pengamatan pasut di Tanjung Priok diperoleh bilangan Formzhal sebesar 3,80. Jadi tipe pasut di Teluk Jakarta dan laut Jawa pada umumnya adalah pasut bertipe tunggal. Tunggang pasang surut di perairan Indonesia bervariasi antara 1 sampai dengan 6 meter. Di Laut Jawa umumnya tunggang pasang surut antara 1 – 1,5 m kecuali di Selat Madura yang mencapai 3 meter. Tunggang pasang surut 6 meter di jumpai di Papua (Diposaptono, 2007).

Masyarakat yang mendiami pulau-pulau kecil menghadapi masalah akan sulitnya mendapatkan pasokan energi khususnya energi listrik. Untuk pulau-pulau besar, ketersediaan energi khususnya energi listrik dapat diperoleh dengan mudah baik dari PLTA, PLTD, PLTU dan sumber energi listrik lainnya. Sebaliknya untuk pulau-pulau kecil pasokan energi listrik sebagai sumber energi vital dalam menjalankan aktivitas kehidupan sehari-hari merupakan hal yang sangat langka. Saat ini sumber energi utama yang menerangi pulau-pulau terpencil adalah bahan bakar minyak. Namun akhir-akhir ini harga minyak cenderung mengalami kenaikan setiap tahun akibat semakin menipisnya sumber minyak. Oleh karena itu perlu dicari sumber energi alternatif murah dan ramah lingkungan.

Beberapa ilmuwan telah mengembangkan berbagai sumber energi alternatif untuk daerah-daerah terpencil seperti energi tenaga matahari, tenaga angin, dan mikro hidro. Akan tetapi sumber energi alternatif tersebut memiliki kelebihan dan sekaligus

kekurangan masing-masing. Khusus untuk pulau-pulau kecil selama ini lebih banyak yang menggunakan energi matahari yang tersedia hanya pada siang hari dan memerlukan *battery* yang harganya tidak murah untuk ukuran masyarakat pesisir dan kepulauan. Salah satu sumber energi yang belum banyak dimanfaatkan adalah gelombang laut. Energi ini tersedia melimpah selama 24 jam sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat kepulauan, bahkan untuk menjadi salah satu sumber energi alternatif di masa yang akan datang. Energi yang berasal dari gelombang laut adalah salah satu sumber energi terbarukan yang sangat menjanjikan, sebab dapat menghasilkan energi di hampir seluruh wilayah laut di permukaan bumi. Potensi energi yang berasal dari gelombang laut di atas planet bumi diperkirakan sebesar 2 Tera Watt. Dengan mengubah energi gelombang laut yang tersedia sebesar 10 sampai 15% sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan energi dunia saat ini.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini kami merancang dan melakukan simulasi mekanisme konverter energi gelombang laut, dalam hal ini Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung silinder untuk menghasilkan energi listrik dalam skala laboratorium, merancang prototipe yang dapat menghasilkan energi optimum dengan terjadinya pasang surut air laut yang terjadi di pantai pantai yang berada di Indonesia dan juga merancang lengan mekanisme yang optimum dalam prototipe tersebut agar mendapatkan energi listrik yang optimum.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, pada penelitian ini dibuat mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan menggunakan metode pelampung silinder dalam skala laboratorium. PLTGL metode pelampung silinder ini diletakkan di tengah kolam simulasi

gelombang dengan frekuensi dan amplitudo tertentu. Selanjutnya gerakan naik-turun pelampung akan menggerakkan poros dan akan memutar generator. Besarnya gerakan naik-turun pelampung akan ditentukan oleh massa lengan dan panjang lengan. Pada lengan tersebut di variasikan inersia lengan yang optimum. Gerakan naik-turun tersebut akan dikonversi menjadi gerakan searah dengan memasang *one way bearing*. Pada mekanisme PLTGL metode pelampung silinder ini akan menghasilkan putaran yang kecil, sehingga putaran tersebut harus ditingkatkan rasionya agar menghasilkan energi listrik yang besar. Dengan terjadinya fenomena pasang surut pada laut, sehingga dapat ditentukan dengan ketinggian prototipe terhadap permukaan air.

Dari penjelasan diatas, maka rumusan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a) Bagaimana merancang bangun mekanisme PLTGL metode pelampung silinder untuk skala laboratorium?
- b) Bagaimana pengaruh inersia lengan pada frekuensi dan amplitudo tertentu terhadap energi listrik yang dihasilkan.
- c) Bagaimana pengaruh ketinggian prototipe terhadap permukaan air pada frekuensi dan amplitudo tertentu terhadap energi listrik yang dihasilkan.

1.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah adalah sebagai berikut:

- a) Dapat merancang dan membangun prototipe mekanisme PLTGL yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik (dalam volt) dengan optimum dalam skala laboratorium.

- b) Mengetahui pengaruh inersia lengan pada frekuensi dan amplitudo tertentu terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam skala laboratorium.
- c) Mengetahui pengaruh ketinggian ketinggian prototipe terhadap permukaan air pada frekuensi dan amplitudo tertentu terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam skala laboratorium.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, adalah sebagai berikut:

- a) Alat konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik yang akan dibuat hanya digunakan untuk skala laboratorium.
- b) Gelombang air yang digunakan disimulasikan oleh mekanisme pembuat gelombang.
- c) Gelombang air yang dibuat dianggap konstan pada setiap variasi amplitudo dan frekuensi tertentu.
- d) Gelombang air yang terjadi hanya ke arah horisonntal(merambat).
- e) Gerakan pelampung dianggap satu derajat kebebasan (vertikal).
- f) Gesekan-gesekan yang terjadi pada poros dan mekanisme tidak diperhitungkan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Mendapatkan energi listrik dari pemanfaatan energi gelombang laut dalam skala laboratorium.

- b) Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut dalam skala yang sebenarnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut ;

1. Bab I Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang dari penelitian ini, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, batasan masalah dari penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penelitian.
2. Bab II Dasar Teori dan Kajian Pustaka
Dasar Teori dan Kajian Pustaka berisi semua hal yang menunjang dalam melakukan analisa hasil penelitian.
3. Bab III Metodologi Penelitian
Bab ini menerangkan tentang pengambilan data yang dilakukan pada tugas akhir ini.
4. Bab IV Analisa Data dan Perhitungan
Bab ini berisi tentang hasil pengolahan dari data-data yang didapat, kemudian dianalisa lebih lanjut.
5. Bab V Kesimpulan dan Penutup
Bab penutup ini terdiri dari kesimpulan hasil pengolahan dari data-data dan saran yang perlu diberikan.

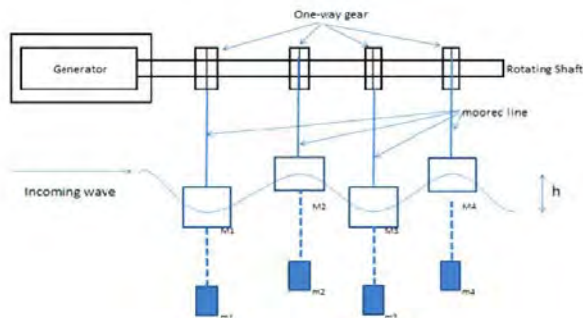
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penelitian PLTGL tipe pelampung oleh Masjono

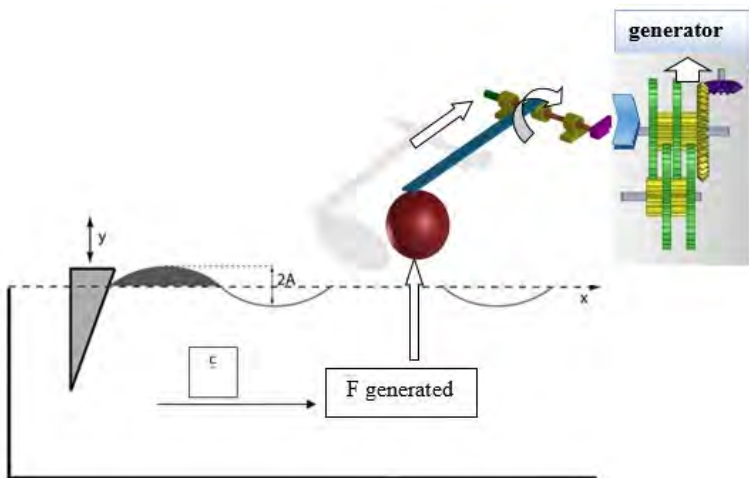
Penelitian yang pernah dilakukan mengenai potensi energi gelombang laut salah satunya adalah yang dikembangkan oleh Masjono pada tahun 2012 dengan judul “Desain dan Simulasi Konverter Energi Gelombang Laut sebagai Pembangkit Listrik”. Dalam penelitian tersebut dikembangkan sebuah konverter energi dari ombak yang menggunakan roda gigi satu arah dan dikombinasikan dengan mekanisme penyeimbang daya untuk menghasilkan rotasi searah secara kontinyu agar menghasilkan listrik. Konsep dari penelitian tersebut adalah beberapa perangkat mengapung tertambat disatukan menggunakan rantai pada roda gigi satu arah yang dikombinasikan dengan massa bergerak untuk menahan rantai tetap lurus. Perangkat ini akan mengubah energi seketika saat ombak laut yang datang dan menghantarkannya ke generator listrik melalui poros satu arah. Ilustrasi PLTGL yang dikembangkan oleh Masjono dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi konverter gelombang laut menggunakan *One- Way Gear* (Masjono, 2012)

2.1.2 Penelitian PLTGL tipe pelampung oleh Yulyana dan Fauzi

Pada Tahun 2014 Yulyana dan Fauzi melakukan penelitian PLTGL tipe pelampung. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun sebuah pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) skala laboratorium, dengan cara memanfaatkan gerakan naik turun pelampung yang diakibatkan oleh gelombang laut. Gelombang laut yang digunakan adalah simulasi gelombang air dikolam simulator gelombang laut. Selanjutnya gerakan naik-turun disearahkan dengan memasang *one way bearing* dan akan menggerakkan poros generator. Besarnya gerakan naik turun pelampung akan ditentukan oleh jumlah pelampung dan jarak peletaknya terhadap poros utama. Ilustrasi PLTGL yang dikembangkan oleh Fauzi dan Yulyana dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Ilustrasi konverter gelombang laut menggunakan *One- Way Bearing*
(Yulyana dan Fauzi, 2014)

Hasil penelitian fauzi ini didapat bahwa daya terbesar untuk variasi jumlah pelampung terjadi pada pelampung dengan jumlah 4 pada frekuensi 15 Hz yaitu 0.04824 watt dan terkecil adalah saat pelampung dengan jumlah 1 pada frekuensi 5 Hz yaitu 0.03115 watt. Untuk variasi jarak, daya terbesar terjadi pada variasi jarak 0.25 meter, jumlah pelampung ($N=4$) pada frekuensi 15 Hz yaitu 0.0599 watt. Daya terkecil terjadi pada variasi jarak 0.05 meter jumlah pelampung 1 ($N=1$) pada frekuensi 9 Hz yaitu 0.0184 watt.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Gelombang laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Gelombang laut biasanya disebabkan oleh angin. Pemanasan di sekeliling bumi menyebabkan terjadinya angin yang kemudian membangkitkan gelombang laut. Angin diatas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak alunan / bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak

2.2.1.1 Definisi gelombang

Proses terbentuknya pembangkitan gelombang di laut oleh gerakan angin belum sepenuhnya dapat dimengerti, atau dapat dijelaskan secara terperinci. Tetapi menurut perkiraan, gelombang terjadi karena hembusan angin secara teratur, terus-menerus, di atas permukaan air laut. Hembusan angin yang demikian akan membentuk riak permukaan, yang bergerak kira-kira searah dengan hembusan angin (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Proses pembentukan gelombang akibat angin

Bila angin masih terus berhembus dalam waktu yang cukup panjang dan meliputi jarak permukaan laut (*fetch*) yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang. Pada saat yang bersamaan, riak permukaan baru akan terbentuk di atas gelombang yang terbentuk, dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang – gelombang baru tersendiri. Proses yang demikian tentunya akan berjalan terus menerus (kontinyu), dan bila gelombang diamati pada waktu dan tempat tertentu, akan terlihat sebagai kombinasi perubahan-perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang yang saling bertautan. Komponen gelombang secara individu masih akan mempunyai sifat-sifat seperti gelombang pada kondisi ideal, yang tidak terpengaruh oleh gelombang-gelombang lain. Sedang dalam kenyataannya, sebagai contoh, gelombang-gelombang yang bergerak secara cepat akan melewati gelombang-gelombang lain yang lebih pendek (lamban), yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan yang terus-menerus bersamaan dengan gerakan gelombang-gelombang yang saling melampaui.

Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain:

- Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.
- Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.

- c. Panjang gelombang (*Wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- d. Tinggi gelombang (*Wave height*) adalah jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
- e. Periode gelombang (*Wave period*) adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Bhat (1978), Garisson (1993), dan Gross (1993)

mengemukakan bahwa ada 4 bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang. Yakni:

- a. Amplitudo gelombang (A) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- b. Frekuensi gelombang (f) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- c. Kecepatan gelombang (C) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- d. Kemiringan gelombang (H/L) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

2.2.1.2 Pasang surut air laut

1. Definisi pasang surut

Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Sedangkan menurut Dronkers (1964) pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan.

Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

2. Faktor penyebab terjadinya pasang surut

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pasang surut berdasarkan teori kesetimbangan adalah rotasi bumi pada sumbunya, revolusi bulan terhadap matahari, revolusi bumi terhadap matahari. Sedangkan berdasarkan teori dinamis adalah kedalaman dan luas perairan, pengaruh rotasi bumi (gaya coriolis), dan gesekan dasar. Selain itu juga terdapat beberapa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasang surut (pasut) disuatu perairan seperti, topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya, sehingga berbagai lokasi memiliki ciri pasang surut yang berlainan (Wyrski, 1961).

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut

gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari (Priyana,1994)

Bulan dan matahari keduanya memberikan gaya gravitasi tarikan terhadap bumi yang besarnya tergantung kepada besarnya masa benda yang saling tarik menarik tersebut. Bulan memberikan gaya tarik (gravitasi) yang lebih besar dibanding matahari. Hal ini disebabkan karena walaupun masa bulan lebih kecil dari matahari, tetapi posisinya lebih dekat ke bumi. Gaya-gaya ini mengakibatkan air laut, yang menyusun 71% permukaan bumi, menggelembung pada sumbu yang menghadap ke bulan. Pasang surut terbentuk karena rotasi bumi yang berada di bawah muka air yang menggelembung ini, yang mengakibatkan kenaikan dan penurunan permukaan laut di wilayah pesisir secara periodik. Gaya tarik gravitasi matahari juga memiliki efek yang sama namun dengan derajat yang lebih kecil. Daerah-daerah pesisir mengalami dua kali pasang dan dua kali surut selama periode sedikit di atas 24 jam (Priyana,1994)

3. Tipe pasang surut

Perairan laut memberikan respon yang berbeda terhadap gaya pembangkit pasang surut, sehingga terjadi tipe pasut yang berlainan di sepanjang pesisir. Menurut Dronkers (1964), ada tiga tipe pasut yang dapat diketahui, yaitu:

- a. Pasang surut diurnal. Yaitu bila dalam sehari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Biasanya terjadi di laut sekitar katulistiwa.
- b. Pasang surut semi diurnal. Yaitu bila dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang hampir sama tingginya
- c. Pasang surut campuran. Yaitu gabungan dari tipe 1 dan tipe 2, bila bulan melintasi khatulistiwa (deklinasi kecil), pasutnya bertipe semi diurnal, dan jika deklinasi bulan mendekati maksimum, terbentuk pasut diurnal.

4. Arus pasang surut

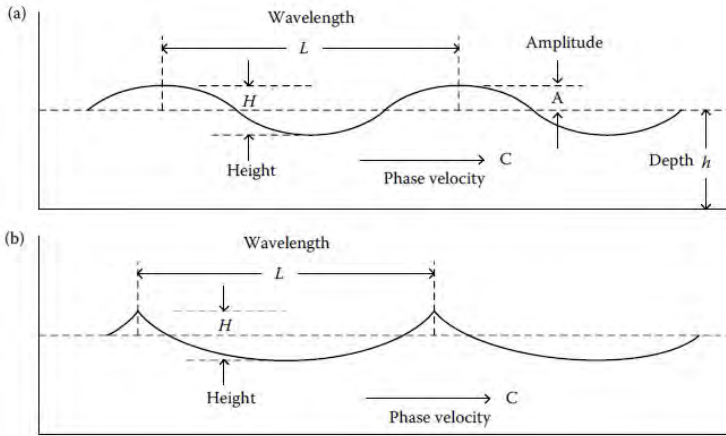
Gerakan air vertikal yang berhubungan dengan naik dan turunnya pasang surut, diiringi oleh gerakan air horizontal yang disebut dengan arus pasang surut. Permukaan air laut senantiasa berubah-ubah setiap saat karena gerakan pasut, keadaan ini juga terjadi pada tempat-tempat sempit seperti teluk dan selat, sehingga menimbulkan arus pasut (*Tidal current*). Gerakan arus pasut dari laut lepas yang merambat ke perairan pantai akan mengalami perubahan, faktor yang mempengaruhinya antara lain adalah berkurangnya kedalaman (Mihardja et., al 1994).

Menurut King (1962), arus yang terjadi di laut teluk dan laguna adalah akibat massa air mengalir dari permukaan yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah yang disebabkan oleh pasut. Arus pasang surut adalah arus yang cukup dominan pada perairan teluk yang memiliki karakteristik pasang (Flood) dan surut atau ebb. Pada waktu gelombang pasut merambat memasuki perairan dangkal, seperti muara sungai atau teluk, maka badan air kawasan ini akan bereaksi terhadap aksi dari perairan lepas.

Pada daerah-daerah di mana arus pasang surut cukup kuat, tarikan gesekan pada dasar laut menghasilkan potongan arus vertikal, dan resultan turbulensi menyebabkan bercampurnya lapisan air bawah secara vertikal. Pada daerah lain, di mana arus pasang surut lebih lemah, pencampuran sedikit terjadi, dengan demikian stratifikasi (lapisan-lapisan air dengan kepadatan berbeda) dapat terjadi. Perbatasan antar daerah-daerah kontras dari perairan yang bercampur dan terstratifikasi seringkali secara jelas didefinisikan, sehingga terdapat perbedaan lateral yang ditandai dalam kepadatan air pada setiap sisi batas.

2.2.1.3 Energi gelombang

Bentuk fisik karakteristik terdapat dua karakteristik dari ombak yang dibedakan atas periodenya. Pada gambar 2.4 dijelaskan dua tipe dari gelombang.



Gambar 2.4 Karakteristik ombak

(Alireza K, 2010)

Untuk mengetahui daya yang terdapat pada gelombang, maka pertama harus mengetahui energi gelombang yang tersedia. Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Total energi potensial dan energi kinetik per satuan luas dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (2.1)$$

Dengan : g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

ρ = densitas air (1000 kg/m^3)

A = amplitudo gelombang (m)

Untuk mendapatkan rata – rata energi atau daya dari periode ombak per satuan panjang, energi E dikalikan dengan kecepatan rambat gelombang, v_g .

$$v_g = \frac{L}{2T} \quad (2.2)$$

Dengan keterangan T adalah periode gelombang (s) dan L adalah panjang gelombang (m).

$$P = \frac{1}{2} \rho g A^2 \frac{L}{2T} \quad (2.3)$$

Jika periode gelombang dan panjang dihubungkan, sehingga

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.4)$$

Sehingga didapatkan daya gelombang per satuan panjang:

$$P = \frac{\rho g A^2 T}{8\pi} \quad (2.5)$$

Dengan menggunakan amplitudo gelombang, daya ombak dapat juga dituliskan sebagai fungsi tinggi gelombang, H. sehingga persamaannya menjadi

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 diatas, dapat diketahui daya ombak peratuan panjang yang dikonversikan oleh mekanisme PLTGL tipe pelampung silinder dengan rumusan sebagai berikut.

$$P_w = \frac{\rho g^2 H^2 T b}{32\pi} \quad (2.7)$$

Dengan keterangan b adalah panjang pelampung silinder (m)

Dari persamaan 2.7 diatas, dapat diketahui gaya ombak pada mekanisme PLTGL tipe pelampung silinder dengan rumusan sebagai berikut.

$$F \text{ wave} = \frac{P_{\text{wave}}}{c_g} \quad (2.8)$$

$$\text{Sehingga } F \text{ wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T b}{32\pi c_g}$$

Dimana c_g merupakan setengah kecepatan rambat suatu gelombang (c). Dengan persamaan

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2.9)$$

Keterangan :

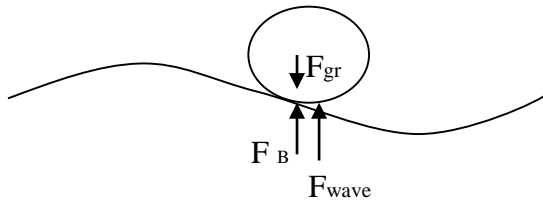
λ : panjang gelombang (m)

T : periode gelombang (s)

2.2.1.4 Gaya pada pelampung

- **F Generated**

Gaya yang dihasilkan (F generated) merupakan resultan gaya yang dihasilkan untuk dapat menggerakkan pelampung dan pergerakan diteruskan ke poros utama untuk menggerakkan generator. FBD pelampung dapat terlihat pada gambar 2.5.



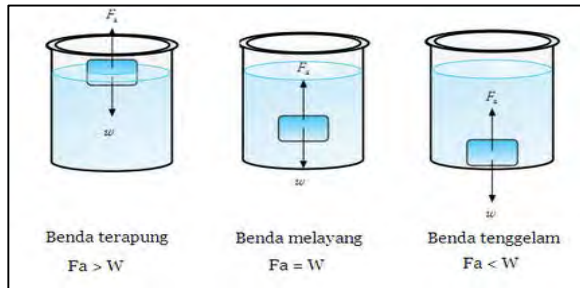
Gambar 2.5 Gaya-gaya yang bekerja pada pelampung

$$F \text{ generated} = \sum F = (F \text{ wave} + F \text{ buoyancy}) - F \text{ gravitasi}$$

$$= \left[\left(\frac{P_{\text{wave}}}{c} \right) + (\rho \cdot v \cdot g \cdot V_{\text{tercelup}}) \right] - (M \cdot g) \quad (2.10)$$

- **Bouyancy force**

Gaya apung atau *bouyancy force* (F_b), yaitu gaya tekan keatas pada suatu benda yang mengapung sama dengan berat air yang dipindahkan (*Archimedes Principle*). Gaya buoyancy selalu sama dengan berat fluida yang dipindahkan (lihat Gambar 2.6)



Gambar 2.6. (a) Benda Terapung, (b) Benda Melayang, (c) Benda Tenggelam

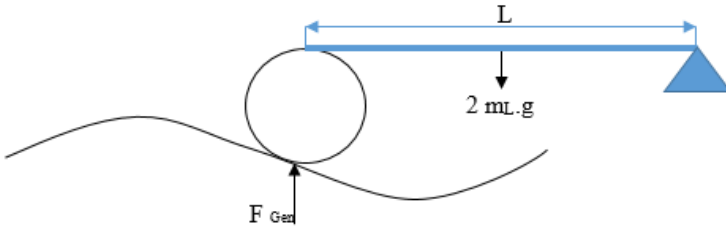
$$F_b = \rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g \quad (2.11)$$

dimana,

$$V_{fluida} = \frac{\rho_{Benda} \cdot V_{Benda}}{\rho_{fluida}} \quad (2.12)$$

- **Momen torsi**

Momen adalah suatu vektor M yang tegak lurus terhadap bidang benda. Arah M adalah tergantung pada arah berputarnya benda akibat gaya bangkitan. FBD terlihat pada gambar 2.7. Momen dapat dihitung dengan rumus berikut:



Gambar 2.7 Torsi yang bekerja pada poros utama

$$Mt = F \cdot r \quad (2.13)$$

$$\text{Torsi input} = (F_{\text{generated}} \times L) - (2 \cdot m_L \times g \times \frac{L}{2})$$

Dimana M adalah momen, F adalah gaya yang bekerja, dan r adalah lengan gaya.

Arah dari momen dapat ditentukan dengan menggunakan konversi tanda misalnya tanda plus (+) untuk arah momen yang berlawanan arah jarum jam, dan tanda minus (-) untuk yang searah jarum jam. Penentuan tanda dari momen ini harus konsisten untuk semua persoalan.

- **Momen Inersia**

Momen inersia adalah hasil kali massa sebuah partikel (m) dengan kuadrat jarak partikel dari titik rotasinya (r). secara sederhana momen inersia dapat ditulis kedalam persamaan berikut ini:

$$I = m \times r^2 \quad (2.14)$$

Jarak setiap partikel yang menyusun benda tegar berbeda – beda jika diukur dari sumbu rotasi. Ada yang berada di tepi ada

yang dekat dengan sumbu rotasinya dan lain- lainnya. Berikut ini adalah beberapa persamaan momen inersia untuk benda tegar. Berbagai macam momen inersia yang terjadi dengan berbagai macam bentuk benda dapat dilihat pada gambar 2.8.

$$I = m \cdot r^2$$

Sumbu putar

$$\sum I = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + \dots$$

Dimana :

I = momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

m = massa benda (kg)

r = jarak dari pusat rotasi (m)

Tabel. Momen Inersia untuk benda-benda pada berbagai bentuk

$I = \frac{1}{12} ML^2$ (a) Batang silinder poros melalui pusat	$I = \frac{1}{3} ML^2$ (b) Batang silinder poros melalui ujung	$I = \frac{1}{2} M(a^2 + b^2)$ (c) Pelat segiempat poros melalui pusat
$I = \frac{1}{3} Ma$ (d) pelat segiempat tipis poros sepanjang tepi	$I = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$ (e) Silinder berongga	$I = \frac{1}{2} MR^2$ (f) silinder pejal
$I = MR^2$ (g) Silinder tipis berongga	$I = \frac{2}{5} MR^2$ (h) Bola pejal	$I = \frac{2}{3} MR^2$ (i) Bola tipis berongga

Gambar 2.8 Momen inersia berbagai macam benda yang umum dikenal

2.2.2 Mekanika getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan

properties yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

Getaran memiliki ciri-ciri, di antaranya:

1. Untuk menempuh lintasan satu getaran diperlukan waktu yang biasa disebut periode
2. Banyaknya getaran dalam satu sekon disebut frekuensi (f)

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

A. Getaran bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem beroksilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

B. Getaran paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar dan beresiko membahayakan. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang,

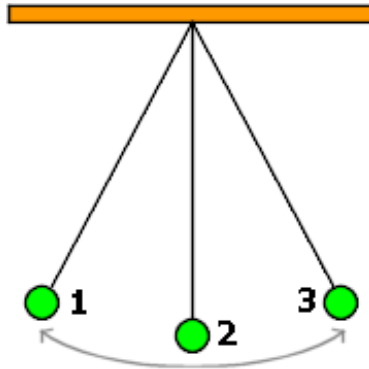
merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

C. Gerak harmonik

Setiap gerak yang terjadi secara berulang dalam selang waktu yang sama disebut gerak periodik. Karena gerak ini terjadi secara teratur maka disebut juga sebagai gerak harmonik/harmonis. Apabila suatu partikel melakukan gerak periodik pada lintasan yang sama maka geraknya disebut gerak osilasi/getaran

2.2.2.1 Amplitudo

Amplitudo adalah pengukuran skalar yang non negatif dari besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga dapat didefinisikan sebagai jarak terjauh dari garis kesetimbangan dalam gelombang sinusoide dihitung dari kedudukan seimbang (lihat gambar 2.9).



Gambar 2.9 Gerakan pada bandul

2. = titik setimbang ; 1 dan 3 = titik terjauh (Amplitudo)

2.2.2.2 Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan waktu yang diberikan. Secara alternatif,

seseorang bisa mengukur waktu antara dua buah kejadian atau peristiwa (dan menyebutnya sebagai periode), lalu memperhitungkan frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti nampak dari rumus di bawah ini:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.15)$$

Dengan f adalah frekuensi (hertz) dan T periode (sekon atau detik).

2.2.2.3 Kecepatan sudut (ω)

Siklus adalah gerak *vibratif (osilatif)* dari posisi keseimbangan menuju posisi ekstrim kemudian kembali ke posisi keseimbangan selanjutnya ke posisi ekstrem (dalam arah yang berbeda) dan kembali ke posisi keseimbangan.

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu siklus secara lengkap.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.16)$$

dimana :

T = periode (s)

ω = frekuensi sirkular (rad/sec)

dimana :

f = frekuensi (linier) [Hz atau cps]

sehingga :

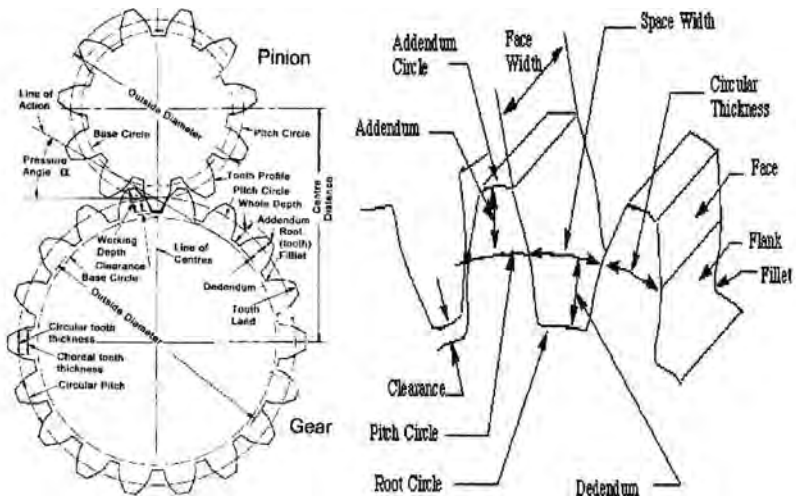
$$\omega = 2\pi f \text{ [rad/sec]} \quad (2.17)$$

2.2.3 Elemen mesin

Dalam pembahasan elemen mesin ialah perancangan komponen–komponen mesin baik ditinjau dari segi keamanan, umur dan desain. Dalam elemen mesin banyak komponen yang akan dipelajari guna menciptakan sebuah mesin yang ideal walaupun terdapat keterbatasan–keterbatasan pada kenyataannya.

2.2.3.1 Roda gigi lurus (*Spur gear*)

Roda gigi lurus merupakan jenis roda gigi yang paling banyak digunakan. Fungsi dari roda gigi lurus ini adalah untuk mentransmisikan daya dan gerak pada dua poros yang sejajar. Bagian dari pasangan roda gigi yang berfungsi untuk menggerakkan roda gigi pasangannya disebut *pinion*. Sedangkan pasangan roda gigi yang digerakkan disebut *gear*. Rincian roda gigi lurus yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Rincian roda gigi lurus

- Velocity ratio

Velocity Ratio (perbandingan kecepatan) pada *spur gear* adalah sebagai berikut:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Nt_2}{Nt_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.18)$$

Dimana:

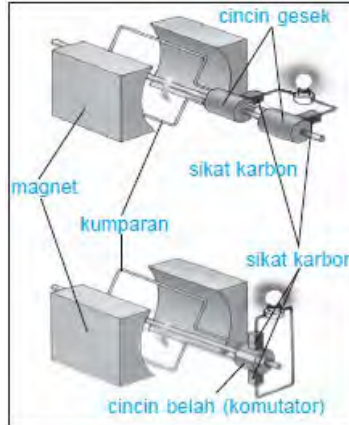
- I* : *velocity ratio*
 ω : kecepatan sudut (rad/s)
 n : kecepatan keliling (rpm)
 Nt : jumlah gigi (buah)
 d : *diameter pitch circle* (in)

2.2.4 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya.

Generator menghasilkan arus listrik induksi dengan cara memutar kumparan di antara celah kutub utara-selatan sebuah magnet. Jika kumparan diputar, jumlah garis gaya magnetik yang menembus kumparan akan berubah-ubah sesuai dengan posisi kumparan terhadap magnet. Perubahan jumlah garis gaya magnetik inilah yang menyebabkan timbulnya ggl induksi di ujung-ujung

kumparan sehingga menghasilkan energi listrik. Ada dua jenis generator, yaitu generator arus bolak-balik yang disebut juga alternator dan generator arus searah (lihat gambar 2.11).



Gambar 2.11 Generator: (a) Generator arus bolak-balik, (b) Generator arus searah

(Sumber: Ilmu Pengetahuan Alam SMP/MTS IX)

2.2.4.1 Daya generator

Daya adalah torsi dikalikan putaran. Dari persamaan (2.10) dan (2.13) maka diperoleh:

$$P = \tau \times \omega \quad (2.19)$$

Dimana:

P = daya (watt)

τ = momen torsi (Nm (newton meter))

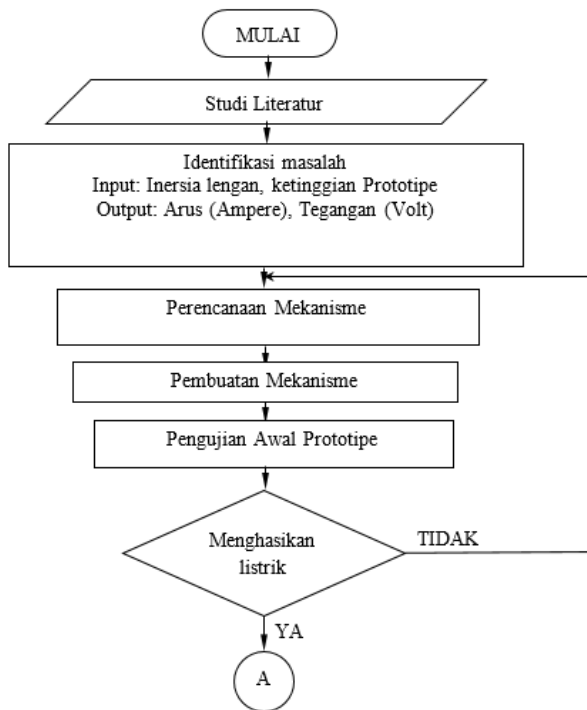
ω = kecepatan sudut (rad/sec)

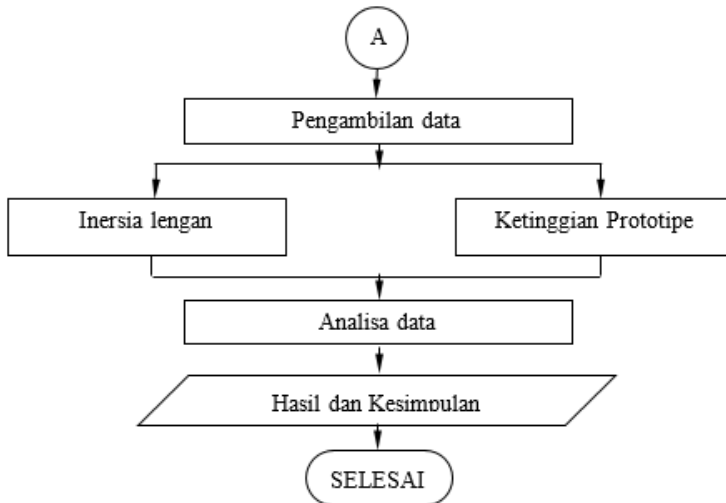
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode berbasis percobaan dengan membuat perancangan sistem peralatan ini kemudian dilakukan pengujian dan percobaan pada system tersebut. Metode penelitian yang akan dilakukan dituangkan ke dalam *flowchart* berikut (Gambar 3.1):





Gambar 3.1. *Flowchart* metodologi penelitian

Penjelasan *Flowchart* Penelitian

1. Studi literatur

Sebelum dilakukan penelitian, dilakukan beberapa studi mengenai beberapa literatur dan referensi yang berkaitan dengan getaran, gelombang laut dan juga pergerakan dan mekanisme pelampung pada gelombang laut. Literatur yang dipelajari berupa tugas akhir, jurnal, diktat perkuliahan dan *textbook*.

2. Identifikasi masalah

Kegiatan yang akan dilakukan dalam pengidentifikasian masalah dalam penelitian kali ini adalah mengetahui kinerja dari system pelampung *Wave Energy Converter* dan bagaimana pengaruh dari variasi ketinggian prototipe serta inersia lengan dan

juga karakteristik gelombang terhadap output dari kinerja system *Wave Energy Converter* .

3. Perencanaan Mekanisme

Pada perencanaan mekanisme ini berfungsi untuk membuat desain alat PLTGL dan perhitungan secara teoritis. Perencanaan mekanisme terlampir pada sub bab 3.2.

4. Pembuatan Mekanisme

Pada pembuatan mekanisme ini berfungsi untuk membuat prototipe alat PLTGL dan pemasangan komponen-komponen alat. Pembuatan mekanisme terlampir pada su bbab 3.3.

5. Pengujian Mekanisme

Pada pengujian mekanisme ini berfungsi untuk mengetahui bagaimana cara proses dan alur pengujian akan dilakukan. Pengujian mekanisme terlampir pada sub bab 3.4.

6. Pengambilan Data

Pengambilan data dapat dilakukan pada saat pengujian, data akan terekam pada *Digital Storage Oscilloscope* berupa tegangan simulator. Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan generator terhadap waktu. *Digital Storage Oscilloscope* ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. *Digital Storage Oscilloscope.*

7. Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan diolah menggunakan software matlab dan Microsoft excel sehingga hasil pengujian akan dapat ditunjukkan dalam bentuk grafik, Data pengujian dibandingkan dengan hasil perhitungan. Sehingga didapatkan hasil berupa efisiensi alat PLTGL

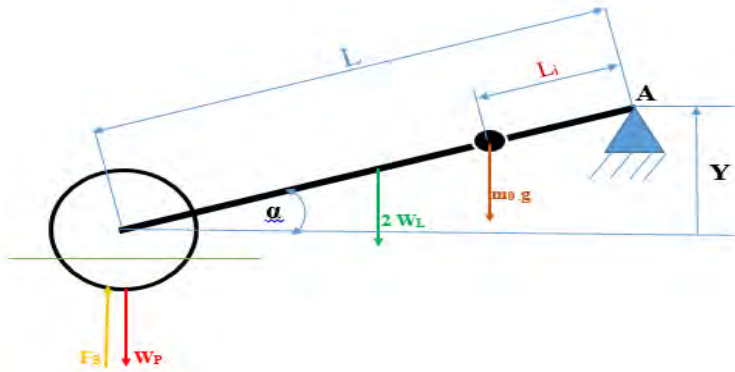
8. Hasil dan Kesimpulan

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berupa tegangan yang dihasilkan mekanisme dan sehingga dapat diketahui kesimpulan berupa efisiensi kerja alat mekanisme PLTG tipe pelampung.

3.2 Perencanaan Mekanisme

3.2.1 Teoritis

3.2.1.1 Keseimbangan statis



Gambar 3.3. FBD Keseimbangan Statis

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{H}{L}$$

$$\sum M = J \ddot{\theta}$$

Karena kondisi statis, $\ddot{\theta} = 0$ Sehingga $\sum M = 0$

$$F_B \cdot L \cdot \cos \alpha - W_P \cdot L \cdot \cos \alpha - 2W_L \cdot \frac{1}{2} L \cdot \cos \alpha - (m_0 g L_i \cos \alpha) = 0$$

$$(F_B - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L}) \cdot L \cos \alpha = 0$$

$$F_B - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L} = 0$$

Jadi,

$$F_B = W_P + W_L + W_0 \frac{L_i}{L} \quad (3.1)$$

Dimana: F_B = Gaya apung

W_P = Berat Pelampung

W_L = Berat Lengan

W_0 = Berat Batang pemberat = $m_0 g$

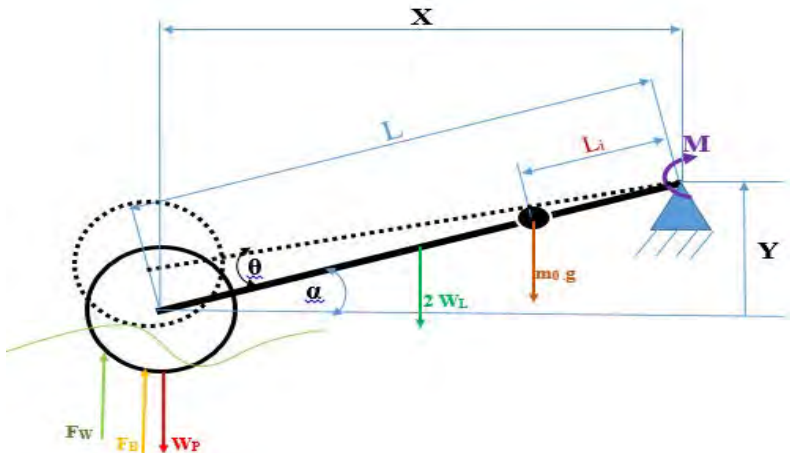
H = Ketinggian prototype (divariasikan)

L_i = Panjang Batang terhadap poros utama (divariasikan)

L = Panjang lengan

Pada kondisi statis, Gaya apung pada pelampung setara dengan berat dari pelampung ditambah dengan berat dari sebuah lengan mekanisme.

3.2.1.2 Keseimbangan dinamis



Gambar 3.4. FBD Keseimbangan Dinamis

$$\alpha = \arcsin \frac{Y}{L}$$

$$\sum M = J \ddot{\theta}$$

$$\begin{aligned} F_B \cdot L \cdot \cos \alpha + F_W \cdot L \cdot \cos \alpha - W_P \cdot L \cdot \cos \alpha - 2W_L \cdot \frac{1}{2} L \cdot \cos \alpha \\ - (m_0 g L_i \cos \alpha) = J \ddot{\theta} \\ (F_B + F_W - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L}) \cdot L \cos \alpha = J \ddot{\theta} \end{aligned} \quad (3.2)$$

*Ket : Pada kondisi dinamis, diasumsikan bahwa volume massa pelampung terceup sama dengan volume massa tercelup

saat statis, sehingga gaya apung pada saat dinamis ($F_{B,D}$) sama dengan gaya apung saat statis ($F_{B,S}$)

$$F_{B,S} = \rho_{fluida} \cdot V_s \cdot g \quad (3.3)$$

$$F_{B,D} = \rho_{fluida} \cdot V_D \cdot g \quad (3.4)$$

$$V_s \approx V_D \quad (3.5)$$

$$F_{B,S} = F_{B,D} \quad (3.6)$$

*Ket : Karena F_B dinamis sama dengan F_B statis, sehingga dari persamaan 3.1 kita dapat menghilangkan nilai $F_B, W_P, W_L, W_0 \frac{L_i}{L}$ pada persamaan keseimbangan dinamis.

- Dari pers. (3.1) dan pers. (3.2) maka didapatkan:

$$F_W L \cos \alpha = J \ddot{\theta} \quad (3.7)$$

$$\text{Jika, } L \cos \alpha = X \quad (3.8)$$

$$F_W X = J \ddot{\theta} \quad (3.9)$$

$$I_{A,L} = \left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) \quad (3.10)$$

dimana $i = 1, 2, 3$ (Bervariasi)

$$I_{A,P} = \frac{1}{2} m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2 \quad (3.11)$$

$$J = I_{A,L} + I_{A,P} \quad (3.12)$$

Sehingga,

$$F_W X = \left(\left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2 \right) \right) \ddot{\theta} \quad (3.13)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{F_W X}{\left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2 \right)} \quad (3.14)$$

Dimana: $\ddot{\theta}$ = percepatan sudut R = Radius pelampung

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_0 + \ddot{\theta} T \quad (3.15)$$

$\dot{\theta}_0 = 0$ karena pada eksitasi awal tidak ada kecepatan sudut yang diberikan.

$$\text{Sehingga,} \quad \dot{\theta} = \ddot{\theta} T \quad (3.16)$$

Dimana: $\dot{\theta}$ = Kecepatan Sudut T =Periode Gelombang

- Pada pers. (3.9) dan pers (3.10) didapatkan rumus sebagai berikut:

$$\dot{\theta} = \frac{F_W X}{\left(2\frac{1}{3}m_L L^2 + \frac{1}{2}m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2\right)} T \quad (3.17)$$

- Analisa Daya yang dihasilkan Gelombang

$$P_w = \frac{\rho g^2 H^2 T \cdot b}{32\pi} \quad (3.18)$$

$$F \text{ wave} = \frac{P_{wave}}{c_g} \quad (3.19)$$

- Pada pers. (3.11), pers. (3.12) dan pers. (3.13) didapatkan rumus sebagai berikut:

$$\dot{\theta} = \frac{\frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi c_g} X}{\left(2\frac{1}{3}m_L L^2 + \frac{1}{2}m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2\right)} T \quad (3.20)$$

- Torsi yang dihasilkan

$$M_t = (F_B + F_W - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L}) \cdot L \cos \alpha \quad (3.21)$$

- Setelah melewati *Gearbox*

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{T_{out}}{M_t} = \frac{\dot{\theta}}{\dot{\theta}_1} = i \quad \text{Dimana: } i = \text{rasio gearbox} \quad (3.22)$$

Kecepatan sudut

$$\dot{\theta}_1 = \frac{\dot{\theta}}{i} \quad (3.23)$$

Torsi

$$T_{out} = M_t \cdot i \quad (3.24)$$

$$T_{out} = i (F_B + F_W - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L}) \cdot L \cos \alpha \quad (3.25)$$

- Daya Bangkitan Gelombang

$$P = T_{out} \dot{\theta}_1 \quad (3.26)$$

Dari pers. (3.9), pers. (3.14) dan pers. (3.15) didapatkan hasil:

$$P = \frac{F_W^2 \cdot \left(L \cos \left(\arcsin \frac{Y}{L} \right) \right)^2}{(I_L) + (I_P)} T \quad (3.27)$$

$$P = \frac{F_W^2 \cdot \left(L \cos \left(\arcsin \frac{Y}{L} \right) \right)^2}{\left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_P \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_P \cdot L^2 \right)} T \quad (3.28)$$

3.2.2. Prototipe

3.2.2.1. Kolam simulasi

Kolam simulasi ini digunakan sebagai alat untuk mensimulasikan gelombang laut. Kolam simulasi ini memiliki dimensi panjang sebesar 5 meter, lebar 1 meter dan tinggi 1 meter. Kolam ini dapat menghasilkan gelombang dengan mekanisme motor AC menggerakkan disk lalu segitiga akan naik dan turun (*pitching*) dan akan membuat air menjadi gelombang. Kolam simulasi dapat dilihat pada gambar 3.5



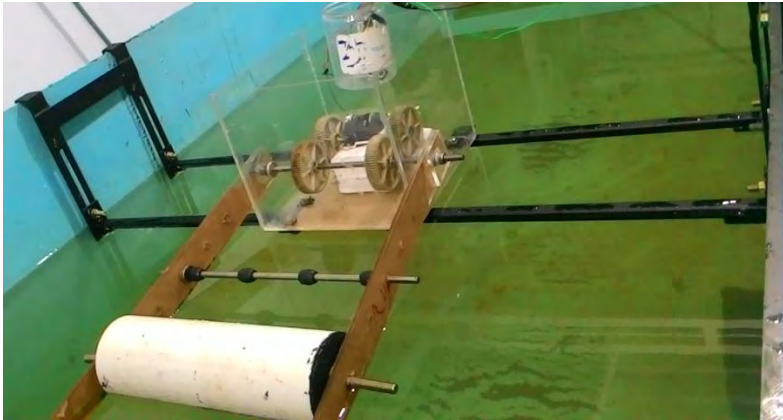
Gambar 3.5. Kolam Simulasi Gelombang dan Mekanisme Pembuat Gelombang

3.2.2.2. Prototipe mekanisme PLTGL tipe pelampung silinder

Pada prototipe mekanisme PLTGL ini digunakan sebagai konverter energi gelombang laut menjadi energi listrik. Sistem kerja PLTGL ini ialah, pelampung silinder akan naik turun (*pitching*) akibat gelombang laut, Dikarenakan pelampung ditopang oleh lengan dan terhubung dengan poros yang terdapat *one way bearing*, maka pada poros terjadi putaran searah. Putaran pada poros itu ditransmisikan menggunakan roda gigi lurus unruk menggerakkan *gearbox*. Sehingga putaran tersebut dapat memutar generator dan dapat menghasilkan listrik.

Mekanisme ini dianalisa berdasarkan pengaruh variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe terhadap permukaan air. Pada inersia lengan divariasikan dengan cara menurunkan jarak (L_i) antara masa penpopang m_0 dengan sumbu poros utama pada lengan mekanisme alat. Pada variasi ketinggian Prototipe dilakukan dengan cara menurunkan ketinggian mekanisme yang

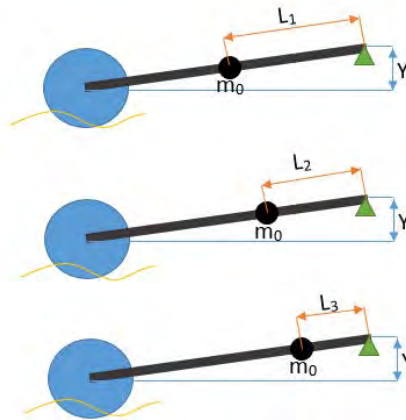
ditopang oleh penyangga. Mekanisme PLTGL dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Mekanisme PLTGL Metode Pelampung Silinder

- Variasi Inersia Lengan pada PLTGL Tipe Pelampung Silinder

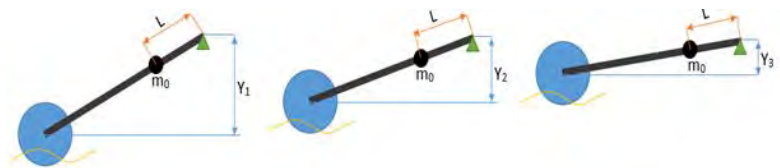
PLTGL tipe pelampung silinder ini mempunyai variasi inersia leangan. Pada variasi inersia lengan diubah dengan cara memberikan jarak yang berbeda (L_i) antara massa penopang (m_0) dengan sumbu poros utama. Pada variasi inersia lengan 1 (I_1) mempunyai jarak L_1 sebesar 20 cm, variasi inersia lengan 2 (I_2) mempunyai jarak L_2 sebesar 15 cm dan variasi inersia lengan 3 (I_3) mempunyai jarak L_3 sebesar 10 cm. Variasi inersia lengan ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.7 Variasi Inersia Lengan (I)

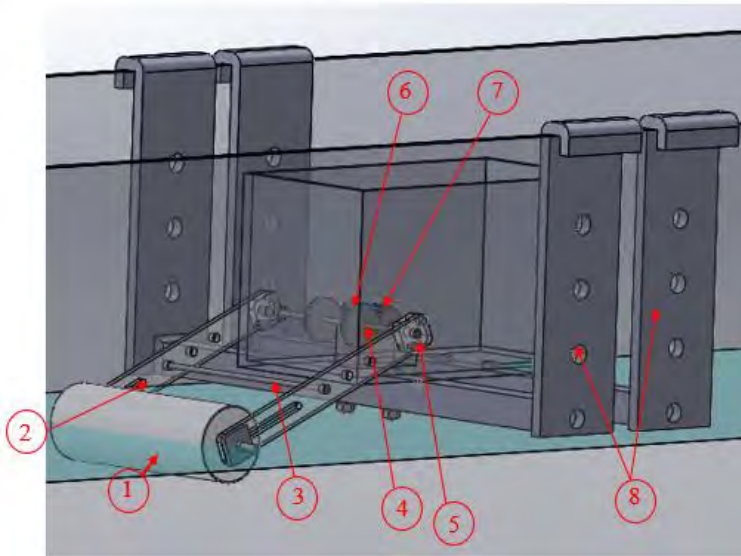
- Variasi Ketinggian Prototipe pada PLTGL Tipe Pelampung Silinder

PLTGL tipe pelampung silinder ini mempunyai variasi ketinggian prototipe terhadap permukaan air pada variasi ketinggian prototipe 1 (Y_1) sebesar 15 cm, ketinggian prototipe 2 (Y_2) sebesar 10 cm dan ketinggian prototipe 3 (Y_3) sebesar 5 cm. Variasi ketinggian prototipe ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.8 Variasi Ketinggian Prototipe (Y)

3.3 Pembuatan Mekanisme



Gambar 3.9 Model PLTGL Metode Pelampung Silinder

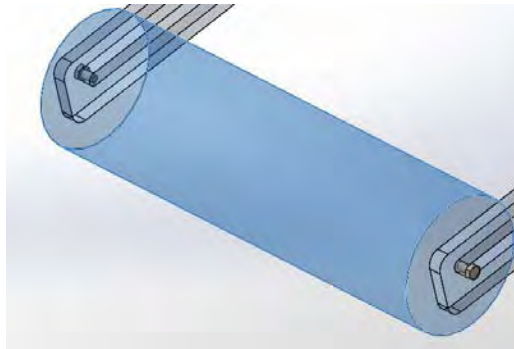
Pada gambar 3.9 menunjukkan sebuah model PLTG metode pelampung. Pada gambar tersebut terdiri dari 7 komponen utama, komponen komponen tersebut tertuang pada table 3.1.

Tabel 3.1 Keterangan Gambar Mekanisme:

1. Pelampung	2. Lengan
3. Batang Penopang Lengan	4. Poros utama
5. One way bearing dan Rumah Bearing	6. Spur Gear
7. Gearbox, dan generator	8. Penopang Prototipe

1. Pelampung (*Floater*)

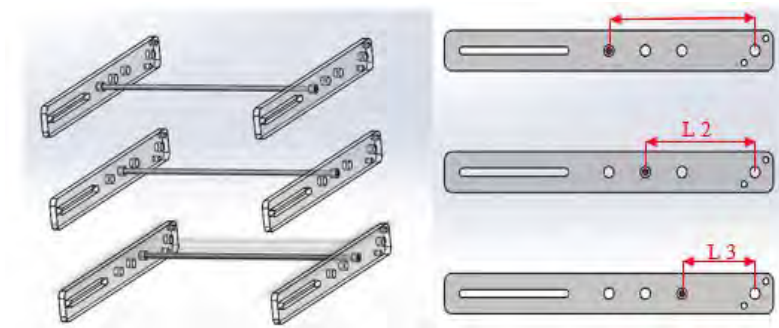
Pelampung berfungsi untuk menggerakkan lengan pelampung agar dapat naik turun. Pelampung ini berbentuk silinder dan terbuat dari plastik (PVC) dan memiliki ukuran diameter 8 cm, Pelampung silinder ini biasanya digunakan untuk aplikasi aliran air rumah untuk mengaliri air. Rancangan pelampung silinder ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10. Pelampung Silinder

2. Lengan Mekanisme

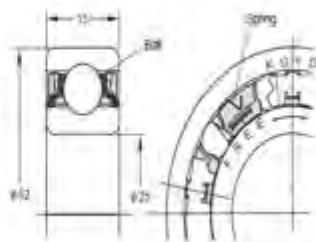
Lengan merupakan penghubung dari pelampung yang mendapat energi gelombang sehingga bergerak naik turun menuju poros yang akan menjadi gerakan rotasi. Lengan ini akan divariasikan pada inersia lengan tersebut, lengan mekanisme dapat dilihat pada gambar 3.11. Inersia pada lengan divariasikan dengan cara penambahan beban yang sama pada lengan seberat 200 gram dan jarak yang berbeda-beda. Jarak beban dari pusat poros utama pada inersia pertama adalah dengan jarak $L1 = 200$ mm, inersia kedua dengan jarak $L2 = 150$ mm dan inersia ketiga dengan jarak $L2 = 100$ mm.



Gambar 3.11. Lengan Mekanisme

3. Bearing Satu Arah (*One Way Bearing*)

Bearing satu arah atau *one way bearing* digunakan untuk mekanisme putaran agar mengunci pada satu arah putaran sehingga dari putaran bolak balik pada poros utama akan menghasilkan satu arah putaran saja. Bearing yang digunakan adalah *one way bearing* diameter dalam 25 mm. Pada gambar 3.12 merupakan contoh *one way bearing* Koyo WCB6205



Gambar 3.12. *One Way Bearing* Koyo WCB6205

4. Poros Utama

Poros utama berfungsi sebagai penerus putaran ke transmisi lalu ke generator. Poros utama memiliki panjang 380 mm dengan

diameter 4 mm. Bahan untuk poros utama ini adalah stainless steel. Poros utama dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Poros Utama

5. Roda Gigi Lurus

Roda gigi ini berfungsi sebagai transmisi antara poros dengan flywheel, Gearbox dan generator. Roda gigi ini memiliki diameter sebesar 72 mm, roda gigi ini berbahan plastik. Roda gigi dapat terlihat pada gambar 3.14.



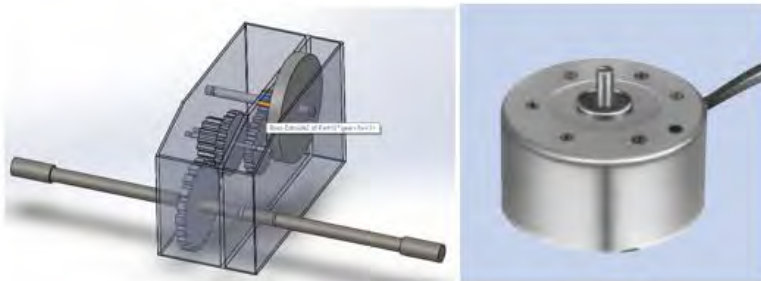
Gambar 3.14. Roda Gigi

6. Generator dan Gearbox

Generator yang digunakan pada penelitian PLTGL tipe pelampung ini adalah motor DC yang putarannya dibalik dengan tipe Mabuchi RF-300FA-12350 motor (3 Volt). Motor Gearbox digunakan untuk menaikkan putaran yang dihasilkan oleh poros utama. Tabel 3.2 merupakan spesifikasi generator yang dipakai dalam prototype PLTGL dan pada Gambar 3.15 meunjukkan sebuah *gearbox* dan motor DC yang dipakai sebagai generator

Tabel 3.2 Spesifikasi Motor DC

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY							STALL	
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT	
			rpm	A	rpm	A	mNm	g-cm	W	mNm	g-cm	A	
RF-300FA-11420	1.7-6.0	3V CONSTANT	2900	0.017	2320	0.068	0.42	4.3	0.10	2.11	22	0.27	
RF-300FA-12350	1.5-6.0	3V CONSTANT	3500	0.022	2830	0.093	0.48	4.9	0.14	2.51	26	0.39	

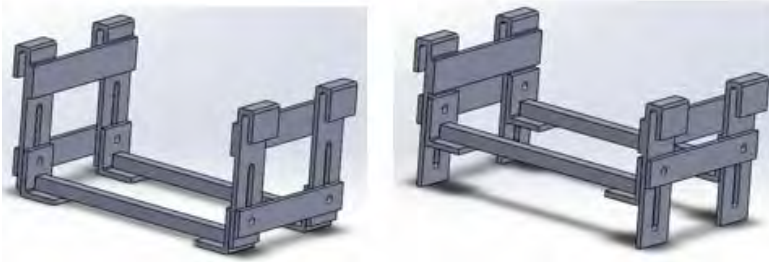


Gambar 3.15. Gearbox dan Motor DC

7. Penopang Prototipe

Penopang prototype ini digunakan untuk menopang alat PLTGL. Penopang ini berguna untuk menaikkan dan menurunkan alat PLTGL agar dapat memvariasikan ketinggian sumbu poros utama dalam pengaruh energi listrik yang dihasilkan. Ketinggian sumbu poros tersebut terhadap permukaan air sebesar $Y1 = 15$ cm, $Y2 = 10$ cm dan $Y3 = 5$ cm. Penopang ini terbuat dari plat baja dan

besi holo (berlubang). Penopang Prototipe dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Penopang Prototipe

3.4 Pengujian Mekanisme

Pengujian Mekanisme dengan variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe terhadap permukaan air dilakukan untuk mengetahui pengaruh hubungan input output antara energi yang dihasilkan oleh gelombang dan voltase (tegangan) yang dihasilkan oleh generator atau motor DC.

3.4.1 Peralatan pengujian

Untuk melakukan studi eksperimental pada PLTGL sistem pelampung ini dibutuhkan beberapa peralatan pengujian untuk mengetahui hasil dari percobaan, peralatan yang digunakan adalah:

1. Kolam simulasi

Kolam simulasi gelombang digunakan sebagai pembangkit energi gelombang yang angkat memberikan gaya bangkitan terhadap alat mekanisme PLTGL.

2. Mekanisme Alat PLTGL

Mekanisme ini digunakan sebagai alat yang akan di uji dengan memvariasikan inersia lengan dan ketinggian prototipe terhadap permukaan air. Output tegangan dari alat mekanisme ini yang akan dianalisa datanya.

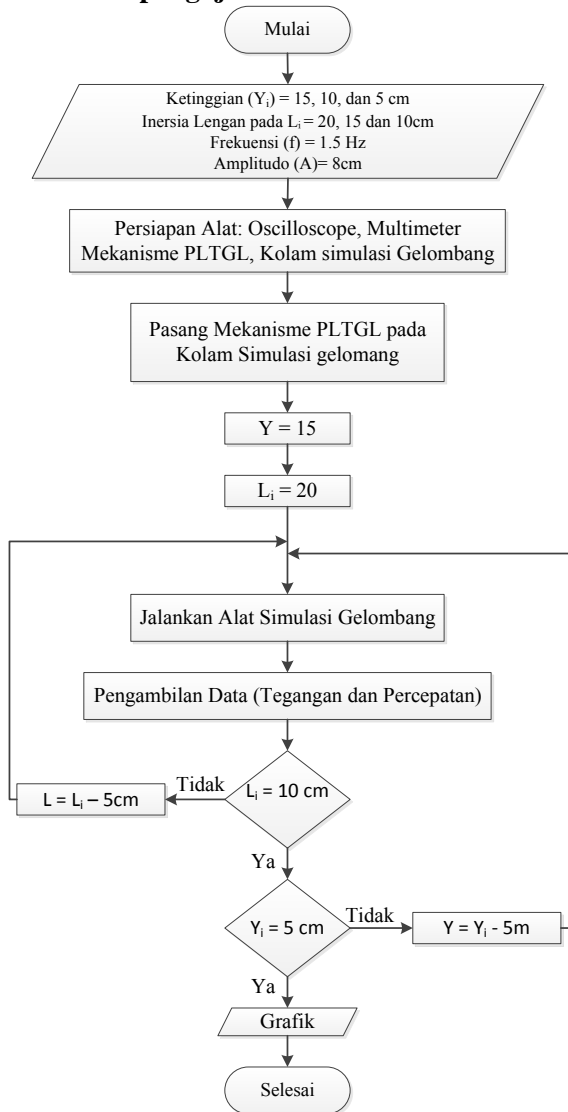
3. Digital Storage Oscilloscope

Digital Storage Oscilloscope dengan merk UNI-T UT2062C digunakan untuk merekam data tegangan yang dihasilkan oleh Simulator. Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan generator terhadap waktu.

4. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur arus yang keluar dari PLTGL tipe pelampung silinder pada saat pengujian.

3.4.2 Flowchart pengujian



Gambar 3.17. *Flowchart Pengujian*

3.4.3 Lembar data pengujian

Pengambilan data dilakukan ketika pelampung mulai naik turun akibat adanya pengaruh gelombang, dengan variasi seperti berikut (table 3.3) :

Tabel 3.3 Variasi Pengujian

No	Inerisa Lengan pada jarak L_i (cm)	Ketinggian Prototipe (cm)	Frakuensi (Hz)	Amplitudo (cm)
1	I_1 pada $L_1 = 20$	$Y_1 = 15$	1.5	8
2	I_2 pada $L_2 = 15$	$Y_2 = 10$	1.5	8
3	I_3 pada $L_3 = 10$	$Y_3 = 5$	1.5	8

Lembar data hasil pengujian digunakan untuk mencatat data voltase bangkitan yang dihasilkan oleh generator pada Simulator *Wave Energy Converter*. Besar voltase bangkitan tersebut dapat dilihat pada layar *oscilloscope*.

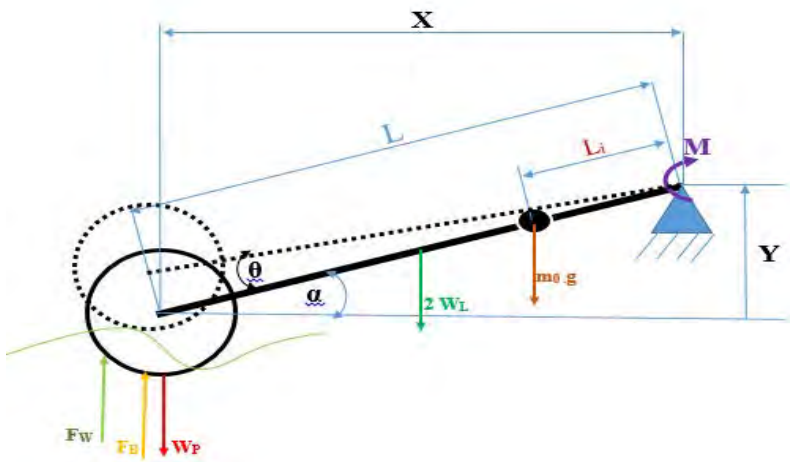
halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Teoritis

4.1.1 Contoh perhitungan



Gambar 4.1 Analisa Gaya pada Mekanisme
Diketahui :

Massa Pelampung (m_p)	= 0,5 kg
Massa Lengan (m_L)	= 0,36 kg
Massa Penopang lengan (m_0)	= 0,181 kg
Panjang Lengan (L)	= 40 cm = 0,40 meter
Lebar Pelampung (b)	= 350 mm = 0.35 m

Frekuensi Inverter (F)	= 15 Hz
Frekuensi Gelombang	= 1,49 Hz
Periode Gelombang (T)	= 0,67 s
Tinggi Gelombang (H)	= 0.08 meter
Panjang Gelombang (λ)	= 1 m
Massa Jenis (ρ)	= 1000 kg/m ³
Percepatan Gravitasi (g)	= 9,81 m/s ²

a) Daya Gelombang

$$\begin{aligned}
 P_{\text{wave}} &= \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \cdot b}{32\pi} \\
 &= \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 96,2361 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 0,0064 \text{ m}^2 \times 0,67 \text{ s} \cdot 0,35 \text{ m}}{32 \times 3,14} \\
 &= 1,43668 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

b) Gaya Gelombang

$$\begin{aligned}
 F_{\text{wave}} &= \frac{P_{\text{wave}} T}{\lambda} \\
 &= \frac{1,43668 \text{ watt} \times 0,67 \text{ s}}{1} \\
 &= 0,9626 \text{ N}
 \end{aligned}$$

c) Torsi yang dihasilkan

$$\begin{aligned}
 \text{Torsi input} &= (F_{\text{generated}} \cdot l \cdot \cos \alpha) - (2 \cdot W_{\text{lengan}} \cdot \frac{l}{2} \cos \alpha) \\
 &\quad - (m_0 g L_i \cos \alpha) \\
 M t_i &= (F_B + F_W - W_P - W_L - W_0 \frac{L_i}{L}) \cdot L \cos(\arcsin \frac{Y}{l})
 \end{aligned}$$

$$Mt_i = F_W \cdot L \cos \alpha$$

$$Mt_i = 0,9626 \text{ N } 0,4 \text{ m } \cos(\arcsin \frac{0,15}{0,4})$$

$$Mt_i = 0,3569 \text{ Nm}$$

$$Mt_{generator} = 0,00251 \text{ Nm}$$

Torsi Output

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

$$\frac{1}{40} = \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

$$T_{out} = \frac{T_{in}}{40} = \frac{0,3569}{40} = 0,008924 \text{ Nm}$$

d) Momen Inersia

Inersia pada Lengan

$$I_{l,i} = \left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right)$$

dimana i = 1, 2, 3 (Bervariasi)

$$I_1 \text{ pada } L_1 = 20 \text{ cm}$$

$$I_2 \text{ pada } L_2 = 15 \text{ cm}$$

$$I_3 \text{ pada } L_3 = 10 \text{ cm}$$

$$I_1 = \left(2 \frac{1}{3} 0,23 \text{ kg} \cdot (0,4 \text{ m})^2 + \frac{1}{2} 0,181 \text{ kg} \cdot (0,008 \text{ m})^2 + 0,181 \text{ kg} \cdot (0,2 \text{ m})^2 \right)$$

$$I_1 = 0,032 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_2 = \left(2 \frac{1}{3} 0,23 \text{ kg} \cdot (0,4 \text{ m})^2 + \frac{1}{2} 0,181 \text{ kg} \cdot (0,008 \text{ m})^2 + 0,181 \text{ kg} \cdot (0,15 \text{ m})^2 \right)$$

$$I_2 = 0,029 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_3 = \left(2 \frac{1}{3} 0,23 \text{ kg} \cdot (0,4 \text{ m})^2 + \frac{1}{2} 0,181 \text{ kg} \cdot (0,008 \text{ m})^2 \right) \\ + 0,181 \text{ kg} \cdot (0,10 \text{ m})^2$$

$$I_3 = 0,026 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inersia pada Pelampung

$$I_p = \frac{1}{2} m_p \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_p \cdot L^2$$

$$I_p = \frac{1}{2} 0,5 \text{ kg} \cdot (0,06 \text{ m}^2 + 0,005 \text{ m}^2) + 0,5 \text{ kg} (0,4 \text{ m})^2$$

$$I_p = 0,0815 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

e) Kecepatan Sudut
Kecepatan sudut masukan

$$\dot{\theta} =$$

$$\frac{F_W X}{\left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_p \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_p \cdot L^2 \right)} T$$

$$\dot{\theta} = \frac{F_W X}{(I_1) + (I_p)} T$$

$$\dot{\theta} = \frac{0,9626 \text{ N} \cdot 0,4 \text{ m} \cos(\arcsin \frac{0,15}{0,4}) \cdot 0,67 \text{ s}}{(0,032 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) + (0,0815 \text{ kg} \cdot \text{m}^2)}$$

$$\dot{\theta} = 2,11429 \text{ rad/sec}$$

Kecepatan sudut setelah melewati Gearbox

$$\frac{n1}{n2} = \frac{\dot{\theta}}{\dot{\theta}_1} = i = \frac{1}{40}$$

$$\dot{\theta}_1 = \frac{\dot{\theta}}{i} = 2,11429 \cdot 40 = 84,5716 \text{ rad/sec}$$

f) Mencari Daya Listrik yang Dihasilkan

$$P \text{ yang dihasilkan} = \text{Torsi out} \times \dot{\theta}_1$$

$$= 0,008924 \text{ N.m} \times 84,5716 \text{ rad/sec}$$

$$= 0,7547 \text{ watt}$$

4.1.2 Pengaruh variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan

Pada percobaan ini menggunakan inersia lengan dan tinggi prototipe terhadap permukaan air sebagai berikut:

$$Y_1 = 15 \text{ cm} \quad I_1 = 0,032 \text{ kg m}^2 \quad H = 0,08 \text{ meter}$$

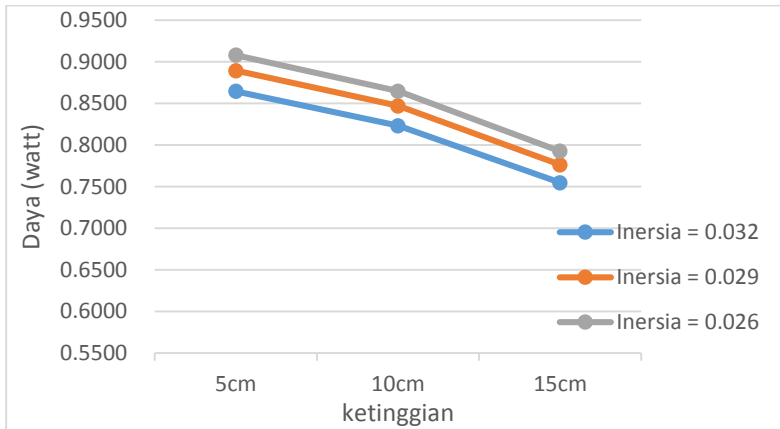
$$Y_2 = 10 \text{ cm} \quad I_2 = 0,029 \text{ kg m}^2$$

$$Y_3 = 5 \text{ cm} \quad I_3 = 0,026 \text{ kg m}^2$$

Tabel 4.1 Tabel Daya dengan Variasi Inersia Lengan dan Ketinggian Prototipe Secara Teoritis

Ketinggian Prototipe (cm)	P (watt)		
	P saat $I_1 = 0,032$	P saat $I_2 = 0,029$	P saat $I_3 = 0,026$
$Y_1=15$	0,7547	0,7764	0,7927
$Y_2=10$	0,8233	0,8470	0,8647
$Y_3=5$	0,8644	0,8893	0,9080

Daya teoritis pada setiap variasi dapat terlihat pada tabel 4.2. Pada tabel tersebut dapat dilihat daya terbesar terdapat pada variasi $Y_3 = 5 \text{ cm}$ dan $I_3 = 0,026 \text{ kg m}^2$ yaitu sebesar 0,9080 Watt dan daya terkecil terdapat pada variasi $Y_1 = 15 \text{ cm}$ dan $I_1 = 0,032 \text{ kg m}^2$ yaitu sebesar 0,7547 Watt.



Gambar 4.2 Grafik daya dengan variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe

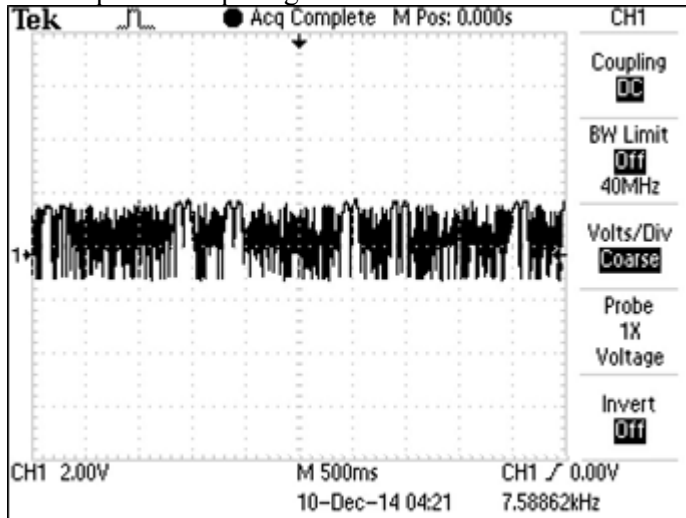
Pada gambar 4.2 adalah grafik daya dengan variasi inersia lengan dan ketinggian prototipe. Trendline grafik terlihat bahwa pada inersia yang sama, semakin besar ketinggian prototipe maka daya yang dihasilkan menurun. Pada gambar juga dapat terlihat grafik pada inersia $0,032 \text{ kg.m}^2$ berada dibawah grafik inersia $0,029 \text{ kg.m}^2$. dan grafik Pada inersia $0,026 \text{ kg.m}^2$ berada diatas grafik inersia $0,029 \text{ kg.m}^2$.

4.2 Analisa Eksperimen

4.2.1 Pengolahan data

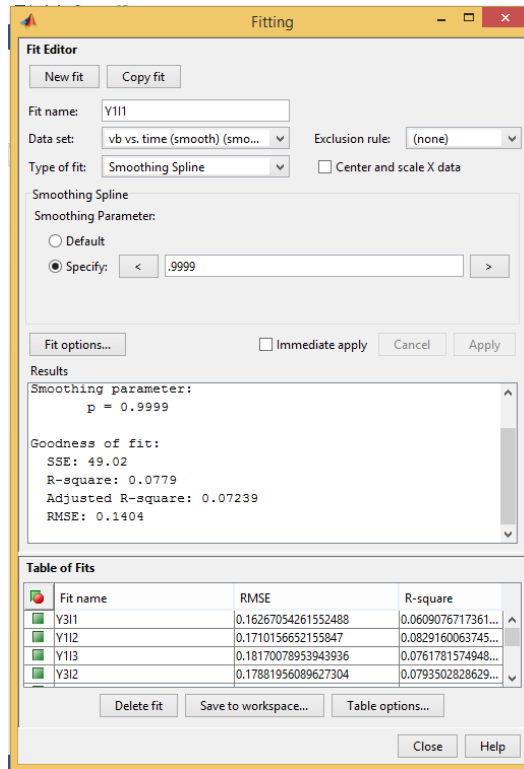
Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Oscilloscope*. Hasil dari Oscilloscope akan menunjukkan nilai dari voltase atau daya bangkitan yang dihasilkan pada simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

Laut Sistem pelampung. Data yang dihasilkan di *Oscilloscope* tidak berupa voltase efektifnya sehingga dilaksanakan proses *smoothing* dan *filter* yang dilakukan menggunakan software Matlab, karena adanya *noise* saat pengambilan data. Data percobaan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Data percobaan pada *oscilloscope*

Dari oscilloscope akan didapat 2500 data voltase pada 5 detik setiap pengambilan data. Data yang sudah di filter dan di smoothing kemudian di fitting sehingga didapatkan nilai RMS (Root Mean Square), seperti gambar 4.4 dibawah :



Gambar 4.4 *Fitting pada oscilloscope*

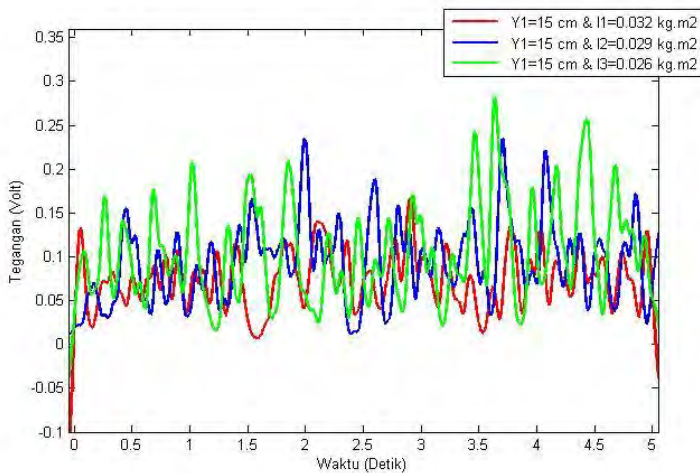
4.2.2 Pengaruh variasi inerisa lengan terhadap energi listrik yang dihasilkan

4.2.2.1 Variasi inersia lengan pada $Y_1 = 15\text{cm}$

Pada gambar 4.5 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi ketinggian prototipe 1 ($Y_1 = 15\text{cm}$) pada tiga inersia lengan yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada inersia lengan 1 (I_1) sebesar $0,32\text{ kg}\cdot\text{m}^2$, garis biru untuk inersia lengan

2 (I_2) sebesar $0,29 \text{ kg.m}^2$ dan, garis hijau untuk insersia lengan 3 (I_3) sebesar $0,26 \text{ kg.m}^2$.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.5 Grafik tegangan dengan variasi inersia lengan pada Y_1

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna merah adalah $I_1 = 0,032 \text{ kg.m}^2$, pada I_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3 dengan tegangan sebesar 0,16 volt. Pada garis berwarna biru adalah $I_2 = 0,029 \text{ kg.m}^2$, pada I_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 2 dengan tegangan sebesar 0,24 volt. Pada garis berwarna hijau adalah $I_3 =$

0,026 kg.m², pada I₃ dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3,75 dengan tegangan sebesar 0,28 volt. Dari data tersebut didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk ketinggian prototipe Y₁ = 15cm, dengan inersia lengan 0,032 kg.m², 0,029 kg.m², dan 0,026 kg.m² didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1002 volt, 0,1336 volt, dan 0,1486 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Variasi Inersia Lengan pada Y₁ terhadap Voltase yang Dihasilkan

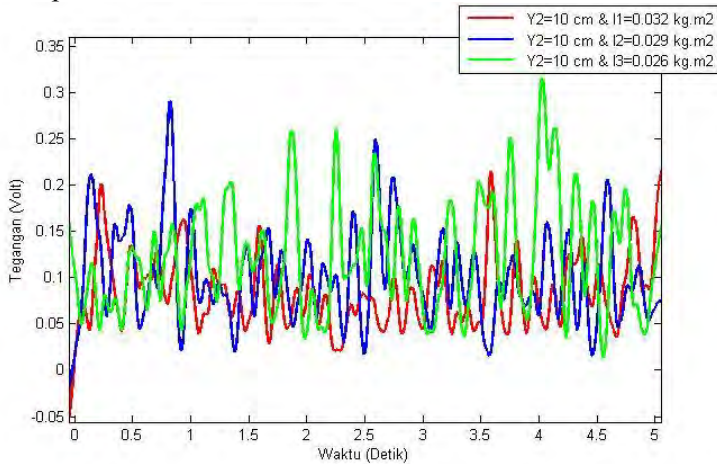
Inersia lengan (kg m ²)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
I ₁ =0,032	Y ₁ =15	0,08	0,1002
I ₂ =0,029	Y ₁ =15	0,08	0,1336
I ₃ =0,026	Y ₁ =15	0,08	0,1486

4.2.2.2 Variasi inersia lengan pada Y₂ = 10cm

Pada gambar 4.6 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi ketinggian prototipe 2 (Y₂ = 10cm) pada tiga inersia lengan yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada inersia lengan 1 (I₁) sebesar 0,32 kg.m², garis biru untuk inersia lengan 2 (I₂) sebesar 0,29 kg.m² dan, garis hijau untuk inersia lengan 3 (I₃) sebesar 0,26 kg.m².

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak,

oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.6 Grafik tegangan dengan variasi inersia lengan pada Y_2

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna merah adalah $I_1 = 0,032 \text{ kg.m}^2$, pada I_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3,7 dengan tegangan sebesar 0,21 volt. Pada garis berwarna biru adalah $I_2 = 0,029 \text{ kg.m}^2$, pada I_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,8 dengan tegangan sebesar 0,29 volt. Pada garis berwarna hijau adalah $I_3 = 0,026 \text{ kg.m}^2$, pada I_3 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 4,1 dengan tegangan sebesar 0,31 volt. Dari data tersebut didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk ketinggian prototipe $Y_2 = 10\text{cm}$, dengan inersia lengan $0,032 \text{ kg.m}^2$, $0,029 \text{ kg.m}^2$, dan $0,026 \text{ kg.m}^2$ didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1143 volt, 0,1424 volt, dan 0,1679 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.3.

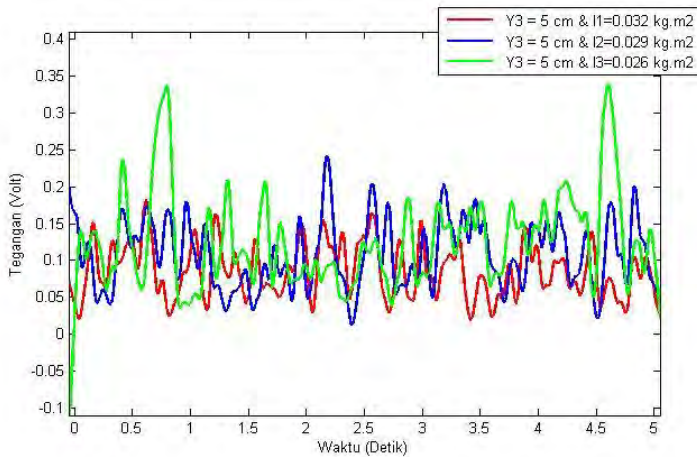
Tabel 4.3 Variasi Inersia Lengan pada Y_2 terhadap Voltase yang Dihasilkan

Inersia lengan (kg m ²)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
$I_1=0,032$	$Y_2=10$	0,08	0,1143
$I_2=0,029$	$Y_2=10$	0,08	0,1424
$I_3=0,026$	$Y_2=10$	0,08	0,1679

4.2.2.3 Variasi inersia lengan pada $Y_3 = 5\text{cm}$

Pada gambar 4.7 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi ketinggian prototipe 3 ($Y_3 = 5\text{cm}$) pada tiga inersia lengan yang berbeda. Garis merah menunjukkan grafik perubahan pada inersia lengan 1 (I_1) sebesar $0,32 \text{ kg.m}^2$, garis biru untuk inersia lengan 2 (I_2) sebesar $0,29 \text{ kg.m}^2$ dan, garis hijau untuk inersia lengan 3 (I_3) sebesar $0,26 \text{ kg.m}^2$.

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.7 Grafik tegangan dengan variasi Inerisa Lengan pada Y_3

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna merah adalah $I_1 = 0,032 \text{ kg.m}^2$, pada I_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,7 dengan tegangan sebesar 0,18 volt. Pada garis berwarna biru adalah $I_2 = 0,029 \text{ kg.m}^2$, pada I_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 2,3 dengan tegangan sebesar 0,25 volt. Pada garis berwarna hijau adalah $I_3 = 0,026 \text{ kg.m}^2$, pada I_3 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,8 dan 4,6 dengan tegangan sebesar 0,34 volt. Dari data tersebut didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk ketinggian prototipe $Y_3 = 5\text{cm}$, dengan inersia lengan $0,032 \text{ kg.m}^2$, $0,029 \text{ kg.m}^2$, dan $0,026 \text{ kg.m}^2$ didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1208 volt, 0,1499 volt, dan 0,1729 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Variasi Inersia Lengan pada Y_3 terhadap Voltase yang Dihasilkan

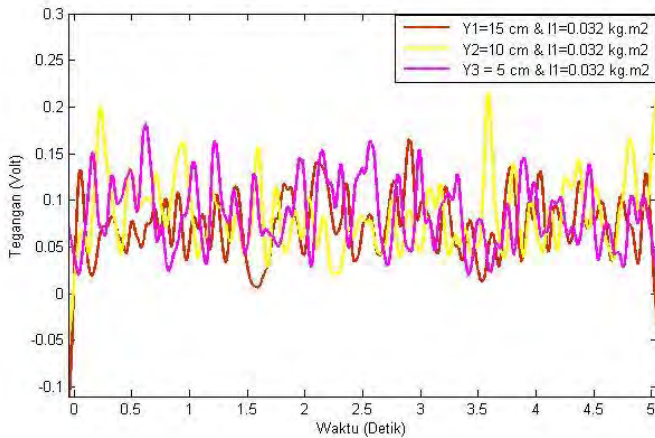
Inersia lengan (kg m^2)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
$I_1=0,032$	$Y_3=5$	0,08	0,1208
$I_2=0,029$	$Y_3=5$	0,08	0,1499
$I_3=0,026$	$Y_3=5$	0,08	0,1729

4.2.3 Pengaruh variasi ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan

4.2.3.1 Variasi ketinggian prototipe pada $I_1 = 0,032 \text{ kg.m}^2$

Pada gambar 4.8 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi inersia lengan 1 ($I_1 = 0,032 \text{ kg m}^2$) pada tiga ketinggian prototipe yang berbeda. Garis coklat menunjukkan grafik perubahan pada ketinggian prototipe 1 (Y_1) sebesar 15cm, garis kuning untuk ketinggian prototipe 2 (Y_2) sebesar 10cm dan, garis ungu untuk ketinggian prototipe 3 (Y_3) sebesar 5cm.

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.8 Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_1

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna coklat adalah $Y_1 = 15$ cm, pada Y_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3 dengan tegangan sebesar 0,16 volt. Pada garis berwarna kuning adalah $Y_2 = 10$ cm, pada Y_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3,7 dengan tegangan sebesar 0,21 volt. Pada garis berwarna ungu adalah $Y_3 = 5$ cm, pada Y_3 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,7 dengan tegangan sebesar 0,18 volt. Dari data tersebut didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk insersia lengan $I_1 = 0,032 \text{ kg m}^2$, dengan ketinggian prototipe 15cm, 10cm, dan 5cm didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1002 volt, 0,1143 volt, dan 0,1208 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_1 terhadap Voltase yang Dihasilkan

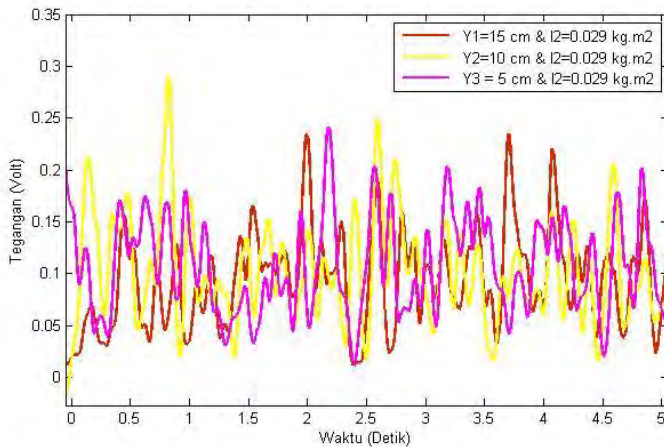
variasi ketinggian prototipe pada I_1

Inersia lengan (kg m ²)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
$I_1=0,032$	$Y_1=15$	0,08	0,1002
	$Y_2=10$	0,08	0,1143
	$Y_3=5$	0,08	0,1208

4.2.3.2 Variasi ketinggian prototipe pada $I_2 = 0,029 \text{ kg.m}^2$

Pada gambar 4.9 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi inersia lengan 2 ($I_2 = 0,029 \text{ kg m}^2$) pada tiga ketinggian prototipe yang berbeda. Garis coklat menunjukkan grafik perubahan pada ketinggian prototipe 1 (Y_1) sebesar 15cm, garis kuning untuk ketinggian prototipe 2 (Y_2) sebesar 10cm dan, garis ungu untuk ketinggian prototipe 3 (Y_3) sebesar 5cm.

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.9 Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_2

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna coklat adalah $Y_1 = 15$ cm, pada Y_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 2 dengan tegangan sebesar 0,24 volt. Pada garis berwarna kuning adalah $Y_2 = 10$ cm, pada Y_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,8 dengan tegangan sebesar 0,29 volt. Pada garis berwarna ungu adalah $Y_3 = 5$ cm, pada Y_3 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 2,3 dengan tegangan sebesar 0,25 volt. Dari data tersebut didapatkan voltase RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk insersia lengan $I_2 = 0,029 \text{ kg m}^2$, dengan ketinggian prototipe 15cm, 10cm, dan 5cm didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1336 volt, 0,1424 volt, dan 0,1499 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_2 terhadap Voltase yang Dihasilkan

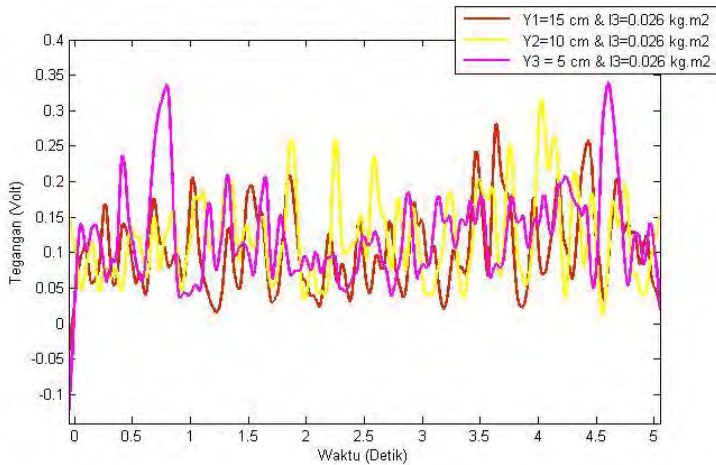
variasi Ketinggian prototipe pada I_2

Inersia lengan (kg m ²)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
$I_2=0,029$	$Y_1=15$	0,08	0,1336
	$Y_2=10$	0,08	0,1424
	$Y_3=5$	0,08	0,1499

4.2.3.3 Variasi ketinggian prototipe pada $I_3 = 0.026 \text{ kg.m}^2$

Pada gambar 4.10 dibawah adalah grafik yang menunjukkan perubahan voltase yang terjadi selama 5 detik untuk variasi inersia lengan 3 ($I_3 = 0,026 \text{ kg m}^2$) pada tiga ketinggian prototipe yang berbeda. Garis coklat menunjukkan grafik perubahan pada ketinggian prototipe 1 (Y_1) sebesar 15cm, garis kuning untuk ketinggian prototipe 2 (Y_2) sebesar 10cm dan, garis ungu untuk ketinggian prototipe 3 (Y_3) sebesar 5cm.

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa terjadi nilai amplitudo dari voltase yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder, dimana jarak antara amplitudo itu berjauhan satu sama lain di masing-masing grafik variasi inersia lengan, sehingga menyerupai sebuah puncak. Hal ini dikarenakan naik turun pelampung silinder sama dengan gerakan ombak, sehingga generator akan berputar sesuai dengan gerakan ombak, oleh karena itu terjadi nilai amplitudo yang berjauhan menyerupai sebuah puncak.



Gambar 4.10 Grafik tegangan dengan variasi ketinggian prototipe pada I_3

Dari grafik voltase fungsi waktu diatas dapat dilihat pada garis berwarna coklat adalah $Y_1 = 15$ cm, pada Y_1 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 3,75 dengan tegangan sebesar 0,28 volt. Pada garis berwarna kuning adalah $Y_2 = 10$ cm, pada Y_2 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 4,1 dengan tegangan sebesar 0.31 volt. Pada garis berwarna ungu adalah $Y_3 = 5$ cm, pada Y_3 dapat dilihat tegangan puncak terjadi pada detik ke- 0,8 dan 4,6 dengan tegangan sebesar 0,34 volt. Dari data tersebut didapatkan RMS dari pengambilan data selama 5 detik untuk insersia lengan $I_3 = 0,026$ kg m², dengan ketinggian prototipe 15cm, 10cm, dan 5cm didapatkan voltase RMS secara berurutan adalah 0,1486 volt, 0,1679 volt, dan 0,1729 volt. Voltase RMS dapat terlihat juga pada tabel 4.7.

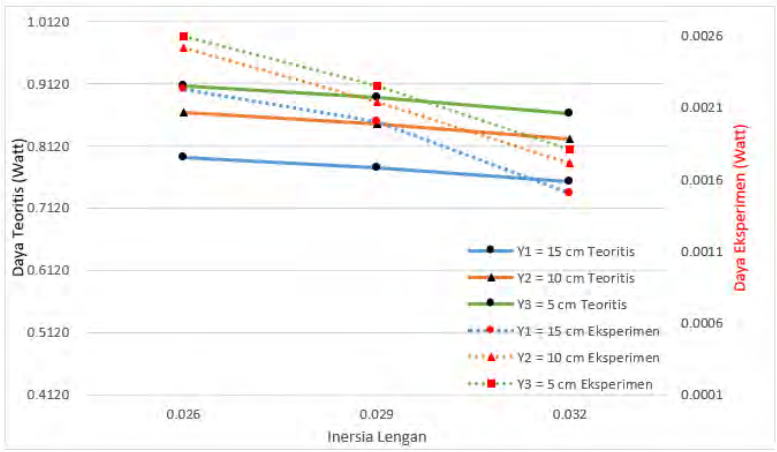
Tabel 4.7 Variasi Ketinggian Prototipe pada I_3 terhadap Voltase yang Dihasilkan

variasi Ketinggian prototipe pada I_3

Inersia lengan (kg m ²)	Ketinggian (cm)	H(m)	V RMS (volt)
$I_3=0,026$	$Y_1=15$	0,08	0,1486
	$Y_2=10$	0,08	0,1679
	$Y_3=5$	0,08	0,1729

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh variasi inersia lengan terhadap energi listrik yang dihasilkan (Teori vs Eksperimen)



Gambar 4.11 Grafik daya variasi inersia lengan

Pada gambar 4.11 grafik diatas terlihat energi listrik yang didapatkan dari hasil eksperimen lebih kecil jika dibandingkan

dengan perhitungan secara teoritis. Terlihat secara teoritis pada ketinggian prototipe yang sama terlihat bahwa inersia lengan 0,026 kg.m² dengan menghasilkan energi listrik paling besar dan Inersia lengan 0,032 kg.m² menghasilkan energi listrik paling kecil. Pada eksperimen terlihat pada ketinggian prototipe yang sama, energi listrik paling besar juga dihasilkan oleh inersia lengan 0,026 kg.m² dan energi listrik paling kecil dihasilkan oleh Inersia lengan 0,032 kg.m². Trendline pada grafik teoritis maupun eksperimen memiliki kesamaan yaitu semakin besar inersia lengan mengakibatkan daya yang dihasilkan menjadi turun.

Berdasarkan teori semakin besar inersia lengan (I_L) maka akan semakin kecil energi yang dihasilkan, mengacu pada persamaan 3.17, yaitu:

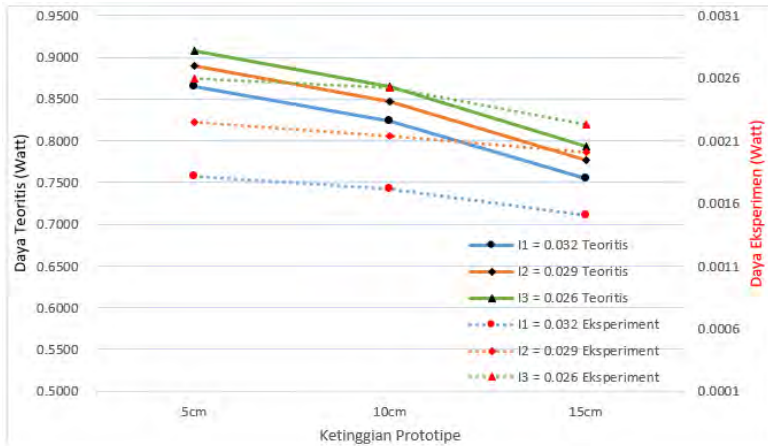
$$P = \frac{F_w^2 \cdot \left(L \cos \left(\arcsin \frac{Y}{L} \right) \right)^2 \cdot i \cdot T}{(I_L) + (I_P)}$$

Dari persamaan tersebut nilai Inersia berbanding terbalik dengan daya yang dihasilkan. Semakin besar Inersia maka semakin kecil daya yang dihasilkan.

Energi listrik hasil eksperiment dari PLTGL metode pelampung dibaca oleh oscilloscope dalam bentuk voltase. Dengan mengalikan voltase tersebut dengan arus maka didapatkan daya dalam satuan watt. Arus PLTGL didapatkan dengan menggunakan multimeter.

Pada grafik perbandingan perhitungan energi listrik yang dihasilkan secara teoritis dan eksperiment diatas terlihat dari grafik teoritis bahwa semakin besar inersia lengan, maka energi listrik yang dihasilkan semakin kecil. Pada grafik eksperimen trendline cenderung sama dengan grafik teoritis dan juga terlihat jelas bahwa nilai eksperimen yang jauh lebih kecil dari pada teoritis. Hal tersebut bisa terjadi karena beberapa factor *looses* ataupun gesekan-gesekan yang terjadi yang tidak diperhitungkan.

4.3.2 Pengaruh variasi ketinggian prototipe terhadap energi listrik yang dihasilkan (Teori vs Eksperimen)



Gambar 4.12 Grafik daya variasi ketinggian prototipe

Pada gambar 4.12 grafik diatas terlihat energi listrik yang didapatkan dari hasil eksperimen lebih kecil jika dibandingkan dengan perhitungan secara teoritis. Terlihat secara teoritis pada inersia lengan yang sama terlihat bahwa ketinggian 5 cm menghasilkan energi listrik paling besar dan ketinggian 15cm menghasilkan energi listrik paling kecil. Pada eksperimen dengan inersia lengan yang sama, energi listrik paling besar juga dihasilkan oleh ketinggian 5 cm dan energi listrik paling kecil dihasilkan oleh ketinggian 15 cm. Trendline pada grafik teoritis maupun eksperimen memiliki kesamaan yaitu semakin besar ketinggian prototipe mengakibatkan daya yang dihasilkan menjadi turun.

Berdasarkan teori semakin besar ketinggian prototipe (Y) maka akan semakin kecil energy yang dihasilkan, mengacu pada persamaan 3.18, yaitu:

P

$$= \frac{F_w^2 \cdot \left(L \cos \left(\arcsin \frac{Y}{L} \right) \right)^2 \cdot i \cdot T}{\left(2 \frac{1}{3} m_L L^2 + \frac{1}{2} m_0 R_0^2 + m_0 L_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_p \cdot (R_1^2 + R_2^2) + m_p \cdot L^2 \right)}$$

Dari persamaan tersebut nilai Y berbanding terbalik dengan daya yang dihasilkan. Semakin besar Y maka semakin kecil daya yang dihasilkan.

Energi listrik hasil eksperimen dari PLTGL metode pelampung dibaca oleh oscilloscope dalam bentuk voltase. Dengan mengalikan voltase tersebut dengan arus maka didapatkan daya dalam satuan watt. Arus PLTGL didapatkan dengan menggunakan multimeter.

Pada grafik perbandingan perhitungan energi listrik yang dihasilkan secara teoritis dan eksperimen diatas terlihat dari grafik teoritis bahwa semakin besar ketinggian prototipe, maka energi listrik yang dihasilkan semakin kecil. Pada grafik eksperimen trendline cenderung sama dengan grafik teoritis dan juga terlihat jelas bahwa nilai eksperimen yang jauh lebih kecil dari pada teoritis. Hal tersebut bisa terjadi karena beberapa faktor *looses* ataupun gesekan-gesekan yang terjadi yang tidak diperhitungkan.

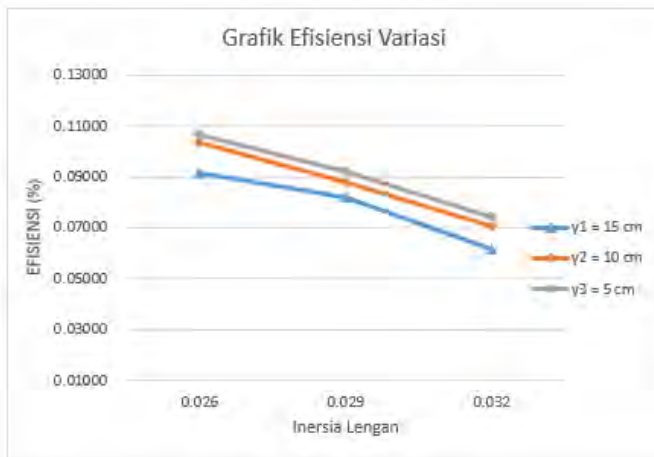
4.4 Efisiensi pada Prototipe PLTGL Tipe Pelampung Silinder

Untuk mengetahui efisiensi dari prototipe mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pelampung Silinder maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik efisiensi. Dimana dengan mengetahui efisiensi mekanisme maka dapat dilakukan analisa lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder. Data efisiensi dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel Data Efisiensi pada setiap Variasi

		Inersia (kg m ²)	Daya Ombak (watt)	Daya Eksperimen (watt)	Efisiensi (%)
Y ₁ =15cm	l ₁	0,032	1.4614	0,00090	0,062
	l ₂	0,029	1.4614	0,00120	0,070
	l ₃	0,026	1.4614	0,00134	0,074
Y ₂ =10cm	l ₁	0,032	1.4614	0,00103	0,082
	l ₂	0,029	1.4614	0,00129	0,087
	l ₃	0,026	1.4614	0,00151	0,092
Y ₃ =5cm	l ₁	0,032	1.4614	0,00109	0,091
	l ₂	0,029	1.4614	0,00135	0,103
	l ₃	0,026	1.4614	0,00156	0,106

Pada grafik dibandingkan daya yang diberikan (P_{wave}) dibandingkan dengan daya hasil pengambilan data (praktikum) dalam satuan watt. Efisiensi dapat dihitung dengan cara membagi nilai daya secara praktikum terhadap daya yang diberikan (P_{wave}), dikalikan dengan seratus persen.

**Gambar 4.13** Grafik perbandingan efisiensi variasi

Gambar 4.13 menggambarkan grafik efisiensi variasi inersia dan ketinggian prototype terhadap permukaan air. Dimana

effisiensi terbesar pada ketinggian ketinggian $Y_3=5\text{cm}$ dengan inersia lengan sebesar $0,026 \text{ kg m}^2$ yaitu $0,037 \%$ dan effisiensi terkecil pada ketinggian ketinggian $Y_1=15\text{cm}$ dengan inersia lengan sebesar $0,032 \text{ kg m}^2$ yaitu $0,022 \%$. Nilai effisiensi didapatkan dari yaitu pembagian daya eksperimen dibagi dengan daya dari ombak dikalikan seratus persen. Nilai effisiensi yang diperoleh sangat kecil dikarenakan nilai error atau *losses* pada mekanisme sangat besar. Daya gelombang laut didapatkan dari persamaan $\frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \cdot b}{32\pi}$, sehingga nilai P_{wave} yang digunakan sebesar $1,4614 \text{ watt}$.

4.5 Aplikasi Prototipe PLTGL Tipe Pelampung Silinder pada Kondisi Sebenarnya

Prototipe PLTGL tipe pelampung silinder pada kondisi laut sebenarnya dapat di aplikasikan dengan cara membuat perbandingan antara ukuran prototipe dengan ukuran kondisi laut sebenarnya. Dimana pada laut Indonesia sendiri memiliki gelombang laut bervariasi sekitar 1 meter hingga 4 meter, dan memiliki tunggang pasang surut bervariasi antara 1 sampai dengan 6 meter. Data hasil skala model pada kondisi sebenarnya dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Tabel Data Skala Perbandingan Model pada Kondisi Sebenarnya

Skala	tinggi Gelombang (m)	Ketinggian Pasang Surut (m)	Panjang Lengan (m)	Daya (Watt)
1 : 1	0.08	0.15	0.4	0.001337
12.5 : 1	1	1.875	5	26.1712
40 : 1	3.2	6	16	858.6425

Pada tabel 4.9 diatas dapat dijelaskan bahwa skala 1:1 di lakukan eksperimen PLTGL tipe pelampung silinder dan

simulasikan pada kolam pembuat gelombang yang terdapat pada laboratorium sistem dinamis dan vibrasi, Jurusan Teknik mesin ITS. Pada skala 1:1 menghasilkan daya sebesar 0,001337 watt.

Pada skala 12.5:1 sangat sesuai dengan kondisi di pesisir pantai utara pulau Jawa karena memiliki tinggi gelombang sekitar 1-2.5 meter dan tunggang pasang surut mencapai 1-2 meter kecuali selat madura karena memiliki tunggang pasang surut mencapai 3 meter. Pada skala 12.5:1 daya yang dihasilkan oleh PLTGL tipe pelampung silinder didapatkan dengan cara daya gelombang laut kondisi sebenarnya pada skala 12.5:1 dan dikalikan dengan efisiensi prototipe secara eksperimen sehingga didapatkan daya mencapai 26,1712 watt.

Pada skala 40:1 sesuai dengan kondisi laut Papua yang memiliki tunggang pasang surut mencapai 6 meter. Pada skala 40:1 daya yang dihasilkan oleh PLTGL tipe pelampung silinder didapatkan dengan cara daya gelombang laut kondisi sebenarnya pada skala 40:1 dan dikalikan dengan efisiensi prototipe secara eksperimen sehingga didapatkan daya mencapai 858,6425 watt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada PLTGL metode pelampung dengan variasi Inersia massa dan ketinggian mekanisme didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar inersia lengan, Nilai daya yang dihasilkan semakin menurun.
2. Hasil eksperimen menunjukkan semakin tinggi ketinggian prototipe, Nilai daya yang dihasilkan semakin menurun.
3. Perbandingan hasil teori dan eksperimen menunjukkan bahwa trendline daya yang dihasilkan sesuai namun terjadi perbedaan yang cukup jauh dari nilai hasil eksperimen dan teori.
4. Nilai daya terbesar terjadi pada variasi ketinggian prototipe ($Y = 5\text{cm}$) dan Inersia lengan ($I = 0.026 \text{ kg.m}^2$) yaitu sebesar 0.00156 Watt dengan efisiensi sebesar 0.106% . Daya terkecil terjadi pada variasi ketinggian prototipe ($Y = 15\text{cm}$) dan Inersia lengan ($I = 0.032 \text{ kg.m}^2$) yaitu sebesar 0.00090 watt dengan efisiensi sebesar 0.062% .

5.2 Saran

1. Dilakukan proses *alignment* antara poros sehingga didapatkan kesetsumbuan poros yang akan meningkatkan efisiensi pada mekanisme PLTGL metode pelampung.
2. Menggunakan generator dengan dayaangkitan yang lebih besar.
3. Bearing yang digunakan tahan air sehingga mencegah korosi.

4. Simulator pembuat gelombang memiliki peredam yang lebih baik, sehingga mencegah gelombang balik dan pengamatan-pun dapat dilakukan lebih lama.
5. Untuk mengaplikasikan prototipe ini di kondisi laut sebenarnya dapat dilakukan di Utara Pulau Jawa kecuali Selat Madura dengan skala 12.5:1 dan di Laut papua dengan skala 40:1.

LAMPIRAN GAMBAR ALAT



Gambar Lampiran 1 Penopang Prototipe



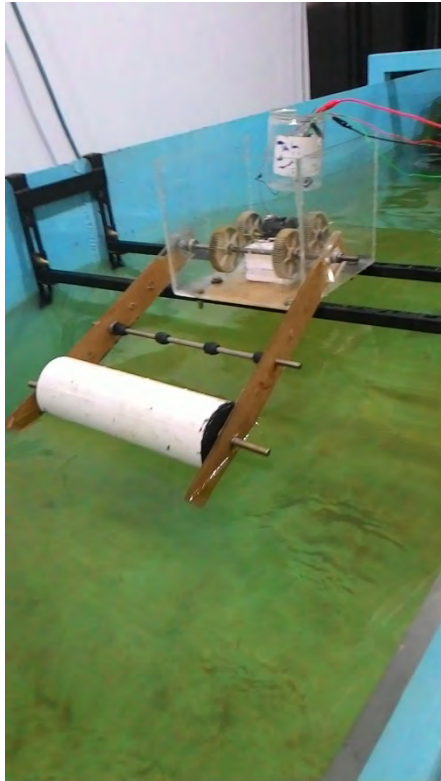
Gambar Lampiran 2 Inverter Simulasi Gelombang pada Kolam Simulasi



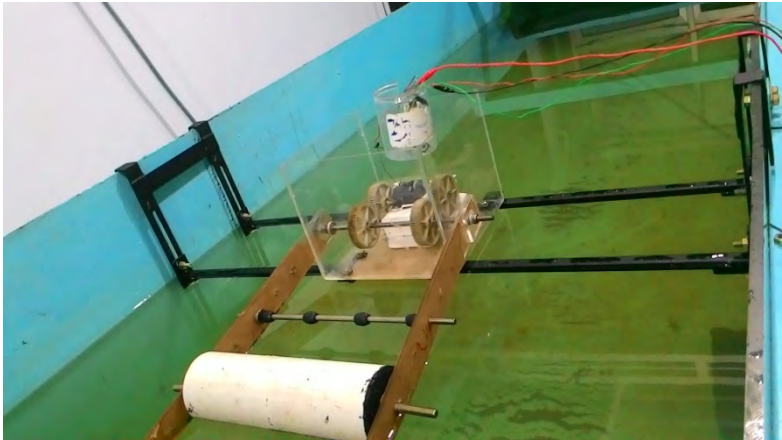
Gambar Lampiran 3 Prototipe PLTGL



Gambar Lampiran 4 Batang penopang Lengan (Variasi Inersia Lengan)



Gambar Lampiran 5 PLTGL tipe Silinder yang Terpasang di Kolam Simulasi



Gambar Lampiran 6 PLTGL tipe Silinder yang Terpasang di Kolam Simulasi



Gambar Lampiran 7 PLTGL tipe Silinder yang Terpasang di Kolam Simulasi

DAFTAR PUSTAKA

- Alfin Ainul, 2014. *Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme PLTG Tipe Salter Duck dengan Variasi Ketinggian Poros dengan Permukaan Air*. Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya
- Defant, A. 1958. *Ebb And Flow. The Tides of Earth, Air, and Water*. The University of Michigan Press, Michigan.
- Diposaptono, S. 2007. *Karakteristik Laut Pada Kota Pantai. Direktorat Bina Pesisir, Direktorat Jendral Urusan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Dronkers, J. J. 1964. *Tidal Computations in rivers and coastal waters*. North-Holland Publishing Company. Amsterdam
- Hibbeler, R.C. 1998. *Mekanika Teknik Dinamika*. PT. Prenhallindo. Jakarta
- Khaligh, Alireza., dan Omer C. Onar. 2010. *Energy Harvesting : Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems*. USA: CRC Press.
- Hibbeler, R.C, 2011. Eighth Edition: *Mechanics of Material* , Prentice Hall, United State of America .
- Kramer, Morten. 2006. *Status on the Wave Star Energy Converter Development*. Aalborg University (AAU), Denmark
- Kramer, Morten. 2006. *The wave Energy Converter Wave Star , A Multi Point Absorber System*. Aalborg University (AAU), Denmark
- Masjono, 2012. *Desain dan Simulasi Konverter Energi Gelombang Laut sebagai Pembangkit Tenaga Listrik* . Akademi Teknik Industri Makassar, Makassar.
- McCormick, M.E . 2010 : *Ocean Engineering Mechanics* , Cambridge University Press, NewYork
- Raden Fauzi, 2014. *Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme PLTG Metode Pelampung Apung dengan*

Variasi Jumlah dan Jarak Peletakan Pelampung Apung. Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya

Rao, R.S. 2011. *Mechanical Vibration, 5th Edition.* New Jersey: Pearson Education.Inc.

Taufik Nasrul, 2014. *Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme PLTG Tipe Salter Duck dengan Variasi Penambahan Beban pada Beak Salter Duck.* Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya

Vinning, J. 2005. *Ocean Wave Energy Conversion : Advance Independent Study Report Electrical and Computer Enggineering Department,* University of Wisconsin –Madison, United State of America

Yulyana Yusnitasari, 2014. *Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme PLTG Metode Pelampung Apung dengan Variasi Pembebanan dan Panjang Lengan.* Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya

Anonim. 2013. Definisi Gelombang Laut. Diakses di
<URL:<http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/definisi-gelombang-laut.html>>.

Anonim. 2013. Proses Pembangkitan Gelombang Di Laut. Diakses di
<URL:<http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/proses-pembangkitan-gelombang-di-laut.html>>.

Anonim. 2014. Pengertian Generator Diakses di
<URL:<http://jonioke.blogspot.com/search/?q=Pengertian+Generator&x=6&y=12>>.

Anonim 2014 Pasang Surut Air Laut Diakses di
<URL:<http://ilmukelautan.com/publikasi/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>>.

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Santoso dilahirkan di Bogor pada tanggal 12 Oktober 1991. Penulis merupakan putra ketiga dari tiga bersaudara.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Cibubur 07 Petang Jakarta Timur dan lulus pada tahun 2003, lalu melanjutkan studi ke SMPN 258 Jakarta dan lulus pada tahun 2006, kemudian penulis melanjutkan studi ke SMAN 106 Jakarta dan lulus pada tahun 2009. Setelah masa studi SMA selesai, penulis melanjutkan studi program Diploma ke Politeknik Negeri Jakarta pada jurusan Teknik Mesin dengan Program Studi Teknik Perancangan dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012/2013 semester genap penulis melanjutkan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Desain. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Oleh Mekanisme PLTGL Tipe Pelampung Silinder dengan Variasi Inersia Lengan dan Ketinggian Prototipe Terhadap Permukaan Air”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini: Muhammad.santoso15@gmail.com